

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIÓN
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



Proyecto Fin de Carrera

Detección de zonas urbanas en imágenes de satélite radar (SAR)



AUTOR: Sandra Reino Gómez
DIRECTOR U.Pavía: D.Fabio Dell'Acqua
DIRECTOR UPCT: D.Fernando Daniel Quesada Pereira

Septiembre / 2013

Indice

<u>1 INTRODUCCIÓN</u>	3
<u>2 INTRODUCCIÓN A LA TELEDETECCIÓN</u>	4
2.1 UN POCO DE HISTORIA	5
2.2 PRINCIPIOS Y TÉCNICAS GENERALES	8
2.3 CAMPOS DE APLICACIÓN	10
<u>3 EL SATÉLITE TERRASAR-X</u>	12
3.1 DESCRIPCIÓN	12
3.2 SEGMENTO ESPACIAL (Space Segment)	14
3.2.1 Sistema de alimentación (Generador solar).....	14
3.2.2 Sistema de navegación.....	14
3.2.3 Gestión de datos.....	15
3.2.4 Sistemas de comunicación.....	15
3.2.5 Sistema de medida.....	15
3.2.6 Carga útil secundaria (Secondary Payloads): LCT, TOR.....	16
3.3 SEGMENTO TERRESTRE (Ground Segment)	17
<u>4 ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES</u>	19
4.1 ENVI (Environment for Visualizing Images)	19
4.2 LA REALIDAD SOBRE EL TERRENO (Ground Truth)	20
4.2.1 Google Earth.....	20
4.3 PRE-ELABORACIÓN	21
4.3.1 Carga de las imágenes.....	21
4.4 LA CLASIFICACIÓN	23
4.4.1 Las zonas de interés (ROI).....	23
4.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS PÍXEL	36
4.5.1 Parámetros estadísticos e histogramas.....	36
4.5.2 Cálculo de los histogramas usando IDL.....	57
4.6 USO DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN	61
4.6.1 Distribución Gamma.....	61
4.6.2 Distribución Gaussiana.....	66

<u>5 EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS</u>	76
<u>6 CONCLUSIONES</u>	94
6.1 LÍNEAS FUTURAS	95

1 INTRODUCCIÓN

El objetivo del proyecto es la clasificación de las diferentes regiones urbanas de las ciudades de Shangai y Pekín, realizando un análisis estadístico del valor de los píxel (iluminación) de las imágenes mediante ENVI (User manual Envi, CEE 6150: Introduction to ENVI), que se trata de un entorno de visualización de imágenes; obteniendo diversos histogramas con la frecuencia con la que aparece el valor de determinados píxeles en dichas zonas y encontrando la función de distribución que realizara una mejor aproximación de dichos histogramas.

Para este estudio se consideraron dos imágenes de radar de teledetección, de Shangai y Pekín, conseguidas a través del nuevo satélite TerraSar-X. Todo el análisis y la elaboración realizada sobre las imágenes han sido realizadas mediante el programa comercial ENVI (*Environment for Visualizing Images*), un programa que permite abrir, visualizar y analizar diferentes formatos de imágenes.

En el primer y segundo capítulo, tras una introducción a la teledetección, vienen explicadas las características y estructura del satélite.

En el tercero se describe el análisis efectuado sobre las imágenes describiendo todas las funciones utilizadas. Viene explicado todo el proceso seguido para una de las imágenes, sabiendo que será el mismo para ambas imágenes.

En el cuarto capítulo, vienen analizados los datos obtenidos mediante la función de distribución que pueda realizar una mejor aproximación.

En el quinto capítulo, después de una primera parte en la cual se ven las conclusiones del estudio, se analizarán también las líneas futuras para su uso.

2 INTRODUCCIÓN A LA TELEDETECCIÓN

El término "teledetección" es la adaptación al español de la expresión anglosajona *remote sensing* comenzada a utilizar durante la década de los sesenta para nombrar la nueva técnica de adquisición de información nacida con la puesta en órbita de los primeros satélites de observación de la Tierra. Todavía hoy coexisten traducciones más literales del mismo concepto: *sensores remotos*, *percepción remota*, etc. Sin embargo, el término *teledetección* es sin duda el que más fortuna ha hecho, consecuencia lógica de su propia etimología. Se trata de *observar* un objeto -es decir, *medir* determinadas características del mismo- sin mediar contacto físico con él (Pinilla, 1995).

La forma de adquirir cierto conocimiento sobre las propiedades de un cuerpo sin tocarlo es detectar y medir las perturbaciones que induce en su entorno y que se propagan en el espacio. Entre todas esas alteraciones, la teledetección, en un sentido restringido, se refiere a las técnicas de adquisición de información mediante la medida del campo electromagnético inducido por el objeto observado.

Para comprender los conceptos más básicos de la teledetección podemos utilizar como modelo la fotografía, en particular la digital. Para realizar una fotografía, una cámara debe recibir luz. Esta luz procede, en última instancia, del Sol, desde donde llega a los objetos como luz blanca. Una parte de esa luz es absorbida por los objetos, mientras que el resto se refleja, dando lugar a su color. Un cuerpo que refleja toda la luz que recibe es, por lo tanto, blanco, mientras que si la absorbe toda es negro. La luz reflejada por los cuerpos llega a la cámara. Ésta dispone de un sistema que descompone la luz en "bandas", una roja, otra azul y una tercera verde, y de un gran número de sensores que reciben esa información y la almacenan en una matriz, como si fueran los ojos compuestos de los insectos. Cada posición de la matriz es un píxel, y contiene información de la intensidad de radiación total, así como de sus componentes en las tres bandas (imagen RGB). Cuanto mayor sea el número de sensores (megapíxels), mayor es la resolución de la imagen, es decir, el grado de detalle. O, lo que es lo mismo, la imagen consta de un mayor número de puntos, cada uno de ellos de un tamaño menor.

Establecida la definición del término, realizar una aproximación más concreta requiere mencionar el modo de utilización de la técnica. Ello ha originado que se hable de teledetección desde baja altura (plataformas aerotransportadas) y desde el espacio (sensores orbitales a bordo de satélites). Por antonomasia, la teledetección sugiere esta última modalidad, al menos en el dominio hispanohablante. Sin embargo, es frecuente encontrar en textos británicos y norteamericanos la apelación a la fotointerpretación e incluso a la fotogrametría como una modalidad más de la teledetección (Barrett y Curtis, 1995), lo que ciertamente es en un sentido estricto. También se produce la situación inversa: es frecuente encontrar bajo el dominio de la fotogrametría digital la utilización de pares estereoscópicos de imágenes de satélite para generar modelos digitales de elevación. Sin embargo, la entidad que en sí mismas tienen fotointerpretación y fotogrametría, su arraigo, su tradición y el cuerpo de doctrina que han ido desarrollado con el tiempo hace que en castellano se las llame por su propio

nombre, sin anidarlas dentro de la teledetección, mientras ésta por su cuenta consolida la posición que desde el principio le corresponde.

Así pues, la teledetección, en general, puede decirse que monopoliza la adquisición de información desde satélite, y sólo desde avión cuando se utilizan sensores réplica de los utilizados en órbita. Sin embargo también en este punto se difuminan los límites. Lo anterior es válido cuando se realizan medidas en el espectro solar. Pero la dicotomía satélite-avión vuelve a desaparecer en el dominio de las microondas: la utilización del radar para la formación de imágenes -en incluso para otros fines como la detección de tornados, por ejemplo- viene siendo dominio de la teledetección, con independencia de la plataforma portadora.

Vista la forma de adquirir la información, la teledetección sin embargo, tal como está admitido ampliamente en los círculos profesionales y científicos, se orienta fundamentalmente a la explotación de dicha información, ocupando sólo una parte del segmento terrestre de las actividades generadas alrededor de la explotación de los datos remotos. Deja, pues, de lado otras tareas imprescindibles para el proyecto en su conjunto: por ejemplo a la Ingeniería Electrónica y de Telecomunicaciones el diseño de las plataformas y a la Aeronáutica su puesta en órbita en estado de operatividad. Acotado así el campo para la teledetección, ésta ha de ocuparse de extraer información útil a partir de los datos digitales adquiridos por la plataforma de observación y enviados a las estaciones terrestres de seguimiento y recepción.

2.1 UN POCO DE HISTORIA

El desarrollo temprano de la teledetección como campo científico está estrechamente ligado al desarrollo de la fotografía (Elachi, 1987). Las primeras imágenes indelebles producidas por acción de la luz directa fueron las llamadas *heliografías*, efectuadas por el francés Niépce en 1822. Atendiendo a la formación de imágenes, pueden ser consideradas como las precursoras de cualquier sistema de percepción remota. El también francés Daguerre mejoró el procedimiento en 1839 que, a pesar de todo, seguía sin ser suficientemente operativo. Por esta razón, durante la siguiente década fue superado por el de Talbot, cuyo proceso negativo-positivo estableció las bases de la moderna fotografía (Graham y Read, 1986).

Si se toma en consideración el antecedente de la fotografía aérea como precedente directo de la teledetección, podrá establecerse el inicio de esta técnica en el año 1858, en el que, desde la canasta de un globo aerostático, Gaspar F. Tournachon ("Nadar") tomó las primeras fotografías de París (Carré, 1971). El desarrollo posterior de la aviación fue rápidamente aprovechado por la fotografía como eficaz medio de extensión de la experiencia que suponía volar en esa época. La primera fotografía desde un avión fue tomada por W. Wright en 1909, si bien la primera cámara aérea como tal no se desarrolla hasta la Primera Guerra Mundial, en 1915. La mejora de las emulsiones empleadas, el perfeccionamiento de las cámaras y la investigación sobre las propias plataformas de vuelo permitieron durante la Segunda Guerra Mundial el asentamiento de la fotografía aérea y el nacimiento de la fotointerpretación (López-Cuervo, 1980).

Durante la década de los 50 se desarrollan los primeros satélites de observación como medio de salvaguarda de la paz en pleno período de *guerra fría* entre los Estados

Unidos de Norteamérica y la antigua URSS. El lanzamiento del Sputnik en 1957 por parte de la Unión Soviética marcó el hito. De forma casi inmediata los sectores civiles reaccionaron apostando por la utilización pacífica de la información proporcionada por los sensores orbitales. Fruto de ello fue la primera generación de satélites de observación meteorológica TIROS (*Television and InfraRed Observation Satellite*), de carácter experimental, cuya primera unidad fue lanzada por los Estados Unidos el 1 de Abril de 1960 (Rao et al, 1990). A partir del décimo satélite de la serie en 1965, el programa fue asumido por la ESSA (*Environmental Science Services Administration*), poniéndose en órbita los primeros satélites meteorológicos auténticamente operativos, desde el ESSA-1, en 1966, hasta el ESSA-9, en 1969. A esta serie le siguió la muy conocida NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), el primero de cuyos satélites tomó el nombre de ITOS-1 (*Improved TIROS Operational System*). Este programa de observación meteorológica sigue vigente con la puesta en servicio del NOAA-14. Paralelamente a la serie NOAA, la antigua Unión Soviética puso en marcha su proyecto METEOR de satélites de órbita heliosíncrona con características similares a los citados.

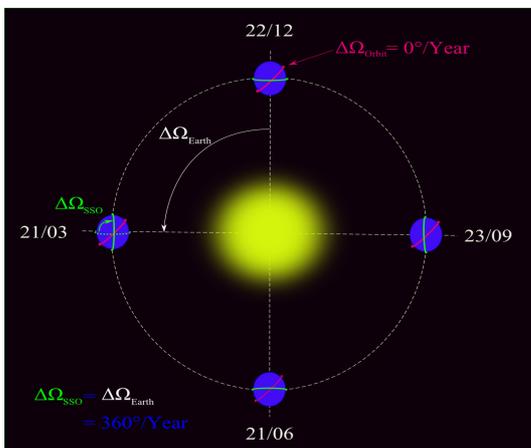


Figura 1. Órbita heliosíncrona



Figura 2. Satélite heliosíncrono

Simultáneamente a estos programas, la NASA desarrolló otros de índole más científica, como el proyecto NIMBUS, que llegó a poner en órbita siete satélites entre 1964 y 1978, o el geostacionario ATS, que generó seis satélites entre 1966 y 1974.

La necesidad de establecer un sistema de observación meteorológica mundial, hoy denominado WWW (*World Weather Watch*), fomentó el desarrollo de los satélites geostacionarios civiles a los que pertenecen el norteamericano GOES, el ruso GOMS y el europeo Meteosat, del que ya se han puesto en órbita varios de su segunda generación (MSG).

Si bien son evidentes los beneficios obtenidos con la explotación de la información proporcionada por los satélites meteorológicos, la teledetección ha alcanzado una mayor popularidad a raíz de la puesta en marcha de programas de observación de la Tierra y de evaluación de los recursos naturales (Chuvieco, 1995). Entre ellos, quizá el más destacado ha sido -y es aún en la actualidad- el programa Landsat, que puso en órbita su primer satélite en 1972 con el nombre ERTS (*Earth Resource Technology Satellite*), siendo continuado con el Landsat-2, y así sucesivamente hasta el Landsat-5, operativo en la actualidad. De los instrumentos que lleva a bordo, el sensor TM (*Thematic*

Mapper) proporciona unos datos de gran resolución espectral, por cuya razón es el que ha alcanzado mayor demanda.

Con fines más cartográficos, el consorcio franco-belga-sueco SPOT desarrolló una familia de satélites de muy alta resolución espacial que, desde 1986, ha puesto en órbita tres satélites que están gozando de una gran aceptación, especialmente cuando los datos de su sensor HRV son explotados en combinación con los proporcionados por Landsat-TM. En esta misma línea, la irrupción en los últimos años en el ámbito civil de los datos procedentes de satélites de muy alta resolución espacial, como Ikonos, QuickBird y otros, con resoluciones por debajo del metro (60 cm en el caso de QuickBird), viene a satisfacer las demandas de los profesionales sobre aplicaciones de gran precisión geométrica, hasta entonces pertenecientes en exclusiva a la esfera militar.

La escena de la teledetección ha empezado a completarse con la explotación de datos en regiones del espectro electromagnético hasta entonces no exploradas desde satélites. La extensión al dominio de las microondas mediante la incorporación de sistemas activos como el radar en sus múltiples versiones, como sistemas formadores de imágenes, como dispersómetros o como altímetros, ha proporcionado un nuevo auge a la teledetección.

La utilización del radar se remonta a la Segunda Guerra Mundial, con la finalidad casi exclusiva de detectar aviones enemigos en vuelo. Sin embargo, posteriormente en la esfera civil, su eficaz aprovechamiento en modo lateral sobre aviones estimuló la investigación de nuevos procedimientos, con el fin de lograr la resolución espacial requerida para utilizarlo a bordo de satélites. De este modo, se desarrollaron los sistemas de radar de apertura sintética SAR (*Synthetic Aperture Radar*), de los cuales constituye un exponente muy importante el SAR del satélite ERS (*European Remote Sensing*) de la Agencia Espacial Europea, en cuyo programa participa España, con dos satélites en órbita, el primero lanzado en Julio de 1991 y el segundo en Abril de 1995, de cuya operación en tándem durante los últimos años se han obtenido resultados interferométricos muy interesantes y prometedores. Otro satélite expresamente diseñado para el radar es el canadiense Radarsat, cuyos primeros datos están comenzando a ser explotados en los últimos meses.

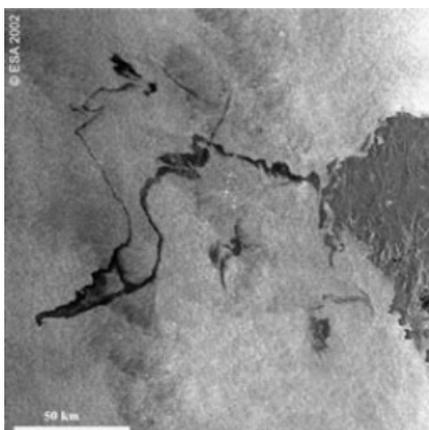


Figura 3. Marea negra provocada por el Prestige
imagen de satélite ERS Envisat
© ESA 2002

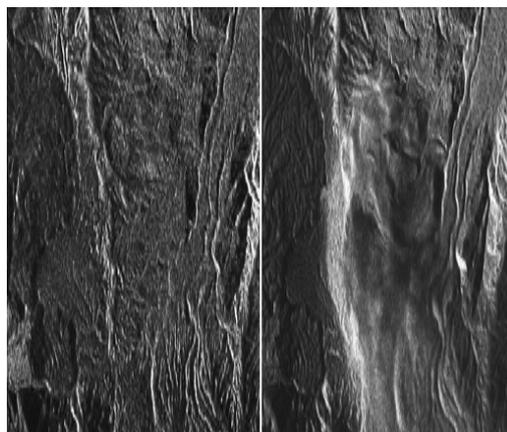


Figura 4. Imágenes tomadas por satélite RADARSAT en Mayo 2001 (imagen a la izquierda) y Junio 2011 (imagen a la derecha)

Junto con el incremento de la resolución espacial y de la utilización de los datos radar, el desarrollo de las técnicas de interpretación hiperespectral es otro de los campos de investigación actual en teledetección. Es de suponer que una de las vías naturales de evolución de las plataformas espaciales será sin duda la incorporación de sensores de mayor resolución espectral, como de hecho ya se utiliza en teledetección aérea. A partir de ahí se comenzará a sustituir el tradicional análisis multiespectral, basado en los datos de a lo sumo cinco o seis bandas, por el hiperespectral, que habrá de manejar datos de varios centenares de bandas simultáneamente. Ya existen satélites con sensores hiperespectrales en órbita, como Hyperion, montado sobre el satélite experimental EO-1.

La explotación de los datos que proporcionan los satélites no habría sido posible sin el desarrollo simultáneo de los sistemas de análisis de imagen. La incorporación de nuevas posibilidades de tratamiento y el robustecimiento de los procesos que ya estaban vigentes, unido todo ello a la simplificación de los procedimientos, la amigabilidad de los programas informáticos y la cada vez mayor potencia y rapidez de las plataformas de proceso están permitiendo abordar problemas más complejos. Por otro lado, los datos espaciales procedentes de imágenes de satélite constituyen volúmenes de información muy considerables, particularmente cuando los estudios se desarrollan sobre regiones geográficas extensas. La herramienta capaz de gestionar eficazmente ese tipo de información son los sistemas de información geográfica (SIG) de carácter teselar o *raster*. Ha sido precisamente con el desarrollo de los SIG a partir de cuando ha sido posible la gestión útil de la teledetección en muchos campos hasta entonces inexplorados.

2.2 PRINCIPIOS Y TÉCNICAS GENERALES

Los sistemas de teledetección se caracterizan por la conjunción de varios elementos, a saber: una fuente de radiación electromagnética, la interacción de dicha radiación con la superficie observada -e inevitablemente con la atmósfera interpuesta- la recepción de la señal de respuesta en el sensor a bordo del satélite o avión, la transmisión a Tierra de los datos y el procesamiento final de los mismos. Dependiendo de si la fuente emisora de radiación es el propio sistema (orbital o aerotransportado) o no se habla de teledetección activa (caso de los altímetros y del radar de apertura sintética) o pasiva (caso de la teledetección óptico-electrónica o de los radiómetros de microondas, por ejemplo).

Existe una limitación en cuanto al rango de longitudes de onda susceptibles de ser exploradas desde sensores orbitales. Los gases y aerosoles atmosféricos presentan numerosas bandas de absorción que sustraen energía radiante en determinados intervalos espectrales. Lógicamente en ellos la atmósfera resulta opaca. Pero en cambio en los restantes sí que resulta diáfana. Esta son las llamadas "ventanas" de observación, para las cuales se diseñan los sensores. Concretamente, la superficie terrestre es casi absolutamente invisible desde fuera de la atmósfera en el ultravioleta, merced a la eficaz absorción encomendada al ozono y al oxígeno atómico y molecular. En cambio es observable con bastante facilidad en el espectro visible (solamente con un efecto de absorción y de dispersión parcial, derivado del espesor óptico, esto es, de la turbidez atmosférica), en el infrarrojo próximo, en ciertas regiones del infrarrojo medio, en cuya región espectral el vapor de agua presenta algunas bandas de absorción y en una pequeña fracción del infrarrojo lejano, justo aquélla en la que el anhídrido carbónico no

absorbe radiación. En la región de las microondas y de las ondas de radio, al ser la atmósfera absolutamente transparente, incluso con cubiertas espesas de nubosidad, la teledetección es posible si se "refuerza" artificialmente la radiación natural en este intervalo espectral. Es el caso de los sensores de radar, los cuales, gracias a esta peculiaridad atmosférica y la generación a bordo de la radiación cuya retrodispersión será medida, pueden observar superficies normalmente ocultas a la teledetección óptica, como son las regiones tropicales y ecuatoriales del planeta, incluso de noche.

La identificación de superficies es posible en el ámbito de la teledetección convencional gracias a la construcción de la firma espectral de cada celda de terreno explorada. La signatura o firma espectral es la respuesta (en términos de radiancia o de reflectancia) de dicha superficie en cada intervalo de longitudes de onda y es característica de cada composición química. En consecuencia es posible llegar a discernir entre tipos de ocupación de suelo a partir de la regeneración de la signatura espectral. Sin embargo, esto solamente es posible cuando el rastreo de las respuestas es muy minucioso, es decir, se realizan numerosas medidas de reflectancia en muchos canales o bandas espectrales, a su vez de una pequeña anchura espectral. Es lo que se denomina teledetección hiperespectral. Cuando, en cambio, el rastreo de la signatura por muestreo simplificado, con un menor número de bandas (habitualmente menor que diez) lo que se consigue es un "diagrama de signaturas" que también permite la identificación, aunque con un menor grado de fiabilidad, si bien con un gran beneficio en la economía del proceso y almacenamiento de datos.

Dentro del procesamiento de las imágenes cobra una gran relevancia el hecho de que la imagen de por sí no constituye un documento cartográfico. Existen numerosas anomalías en la adquisición y transmisión de la información, a las cuales se les suma el hecho de que la imagen digital no es una proyección ortogonal del espacio objeto. En teledetección óptica, a diferencia de lo que ocurre en el ámbito de la fotogrametría, la imagen no es tampoco una proyección cónica sino, cilíndrica como consecuencia de la adquisición sucesiva de líneas completas. Ello conduce a deformaciones de la geometría proporcionales a la altura del punto (celda) observado con respecto a un plano de comparación establecido y a la distancia nadiral de dicho punto. De otra parte, en los casos en los que la imagen es adquirida por sensores de barrido (escáneres) que exploran la línea celda a celda sucesivamente, también se produce un escalonamiento en las posiciones debidas al tiempo de barrido de la línea. En resumen, es necesaria una minuciosa labor de corrección geométrica, que habitualmente se aprovecha para dotar de coordenadas a la imagen (georreferenciación), para obtener como resultado un documento auténticamente cartográfico.

Existen además muchos otros procedimientos y técnicas de uso común en procesamiento de imágenes que permiten obtener una mejor distribución de luminancia (correcciones radiométricas) y que dotan a la imagen de una mayor definición en los contornos y, en general, en todos sus rasgos lineales (operaciones de filtrado, bien en el dominio espacial, bien el de la frecuencia).

2.3 CAMPOS DE APLICACIÓN

Las aplicaciones en las que la teledetección -como conjunto de técnicas y procedimientos- está demostrando ser de gran utilidad son cada día más numerosas y se extienden a múltiples y diversos campos.

La clasificación en grupos temáticos homogéneos de la multitud de enfoques de esta materia es extraordinariamente difícil, habida cuenta la diversidad de aplicaciones existentes. Por ello, resulta más usual su agrupación basada en el objeto del estudio. En virtud de ello, el catálogo de aplicaciones suele organizarse en apartados que tienen que ver con el espacio físico donde acontece el fenómeno observado, a saber: la litosfera, la hidrosfera, la atmósfera o la biosfera (Pinilla, 1995).

En aplicaciones pertenecientes a la litosfera, pueden citarse la cartografía de los riesgos de erosión, el análisis geomorfológico, las prospecciones geomineras o los estudios de radiación a nivel de la superficie terrestre. El radar, a su vez aporta nuevos procedimientos que permiten la caracterización de la rugosidad y de la humedad de la superficie y la interferometría está posibilitando el levantamiento preciso de modelos digitales de elevación a partir de dos observaciones de satélites SAR (radar de apertura sintética) en tándem.

Dentro del dominio de la hidrosfera, destacan el análisis de las características físicas de los mares y los océanos, tales como la temperatura superficial, las corrientes de agua o el oleaje, las características químicas como la salinidad, la turbidez o el contenido en contaminantes y las biológicas como la localización de pesquerías o el análisis del contenido en plancton. Pero también son de aplicación los estudios realizados sobre las aguas continentales. Entre éstos destacan la medición de superficies nevadas y la profundidad alcanzada por la nieve, en orden a evaluar la magnitud de la acumulación de agua y así predecir el deshielo, la medida de la evapotranspiración de una zona o la inferencia de acuíferos subterráneos.

La atmósfera ha gozado siempre de una especial atención por parte de numerosos campos del saber, que a partir de la incorporación de la teledetección han contado con una valiosa herramienta. La predicción meteorológica es casi seguro la aplicación más conocida, pero no la única. Estudios físicos más detallados mediante teledetección están permitiendo un conocimiento más profundo del perfil atmosférico, la medición del decreciente contenido en ozono en ciertas regiones del planeta (el llamado *agujero*), el establecimiento de modelos climáticos regionales y globales o la mejor comprensión de fenómenos climáticos aún oscuros como el denominado *El Niño*.

En el campo de la biosfera son dignos de destacar los estudios sobre el seguimiento de la vegetación en términos generales y, más específicamente, la estimación de la producción agrícola, el control de determinadas plagas o enfermedades de las plantas cultivadas y forestales, la determinación de la cantidad de biomasa producida en una región o la deforestación de las selvas tropicales. Como aplicaciones concretas de uso cada día más generalizado se encuentran el control de superficies de cultivo para el seguimiento de la Política Agraria Comunitaria (PAC) de la Unión Europea, la evaluación de los daños ocasionados por los incendios forestales, e incluso su seguimiento en tiempo real.

Fuera del esquema tradicional litosfera-hidrosfera-biosfera-atmósfera pueden aportarse dos grupos más de aplicaciones de la teledetección, ambas de gran interés para el Ingeniero Técnico en Topografía: la cartografía y la ordenación del territorio. La producción cartográfica a partir de imágenes espaciales es cada vez más demandada, pero también está resultando de gran utilidad la utilización de imágenes de alta resolución espacial para la actualización rápida de la cartografía topográfica de escala 1:50.000. En el ámbito del análisis territorial, la teledetección está siendo, en ocasiones, un instrumento útil para definir la situación de partida previa a la planificación y, dentro ya de la fase de planificación, contribuye al seguimiento de la política de ordenación.

La investigación aplicada a los SIG, los rotundos y espectaculares éxitos obtenidos a partir de las imágenes radar, las posibilidades de mejorar su interpretación y su integración con la información procedente de sensores de gran resolución espacial en el espectro solar y el análisis hiperspectral están indicando con toda seguridad los derroteros por los que se encaminará la teledetección en la próxima década, la primera de un nuevo milenio.

3 EL SATELITE TERRASAR-X

3.1 DESCRIPCIÓN



TerraSAR-X es un satellite alemán, realizado gracias a la colaboración de la Agencia Espacial Alemana (DLR) con la EADS Astrium, uno de los más importantes grupos europeos especializado en la proyección de satélites. (Werninghaus R, Balzer W, Buckreuss St, Mittermayer J, Mühlbauer P (2004)).

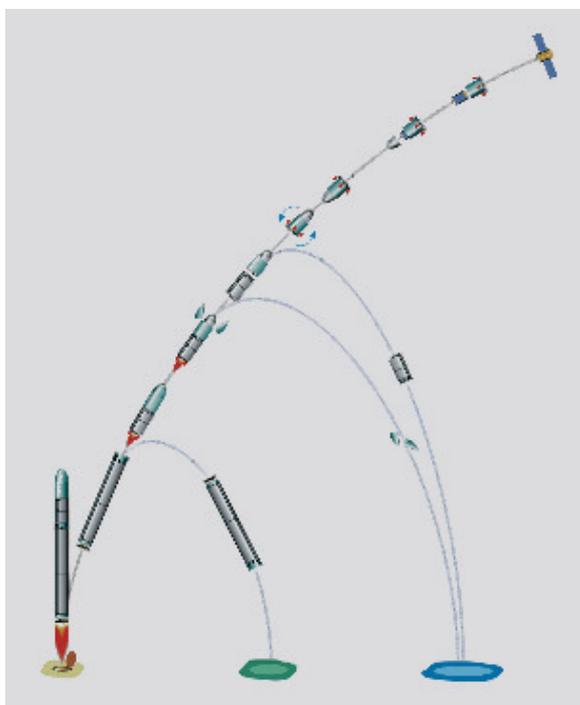


Figura 5. Secuencia de lanzamiento del DNEPR-1

Se trata del primer satélite radar de altísima resolución (1metro). Los datos satelitales y los servicios TerraSAR-X disponibles desde Enero de 2008, asocian a un altísimo nivel de detalle también importantes rendimientos en terminos de rapidez de recepción a tierra, gracias sobretodo a la capacidad de adquirir imagenes independientemente de las condiciones meteorológicas y de la iluminación .

La puesta en órbita ocurrió el 15 de junio de 2007 desde Baikonur (Kazajstán) con la ayuda del cohete ruso DNEPR-1, que condujo al satélite a 514,8 kilómetros de altura en órbita baja o LEO (Low Earth Orbit). Después de sólo cuatro días desde lanzamiento fue recibida la primera imagen de Tsimlyanskoye (Rusia).

Las imágenes TerraSAR-X pueden adquirirse de tres formas diferentes:

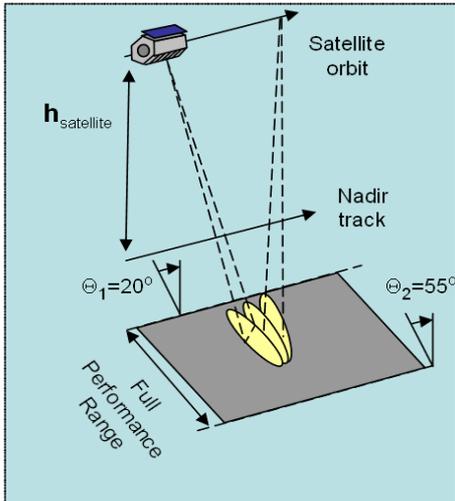


Figura 6. Modalidad Spotlight

Spotlight. Este modo proporciona la imagen de radar más sofisticada disponible en el mercado; de hecho, gracias a la agilidad superior y al ancho de banda satelital excepcional (300 MHz) se puede llegar hasta 1 metro de resolución. Esto es gracias a la capacidad del satélite de direccionar sobre un área específica de interés una señal radar de forma que pueda iluminarla durante un período de tiempo suficiente para lograr la máxima resolución.

StripMap. Este modo de operación del satélite es una captura de la imagen de un área más grande, a través de una serie de pulsos de radar que son emitidos en secuencia desde el sensor. Manteniendo constante el ángulo (entre 20° y 60°) y el acimut durante el vuelo del satélite obtendremos como resultado imágenes radar homogéneas entre ellas (mismas características y calidad) con una resolución de 3 metros.

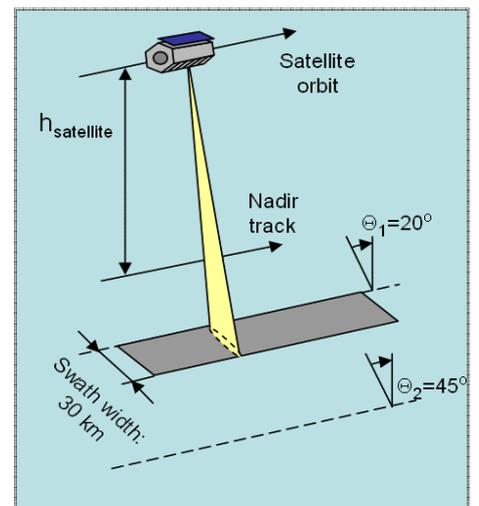


Figura 7. Modalidad StripMap

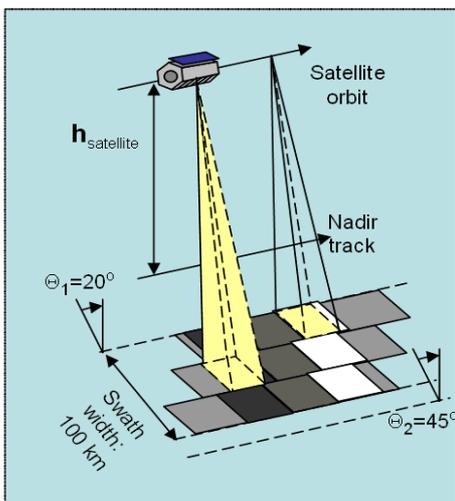


Figura 8. Modalidad ScanSAR

ScanSAR. En este modo el satélite TerraSAR-X es capaz de capturar en una semana hasta 100.000 kilómetros cuadrados de imágenes de radar a la resolución de 16 metros. El ancho de barrido de 100 kilómetros se logra mediante el análisis adyacente de cuatro sub-áreas de suelo con vigas casi simultáneas, cada uno en diferente ángulo de incidencia

3.2 SEGMENTO ESPACIAL (Space Segment)

El satélite TerraSAR-X fue concebido inspirándose en el modelo de referencia utilizado en misiones Champ (2000) y Grace (2002). La estructura tiene una longitud de 5 m y una sección hexagonal de 2,4 m de diámetro, para una masa de 1230 kg. Puede ser dividido en varios elementos según las funciones características.

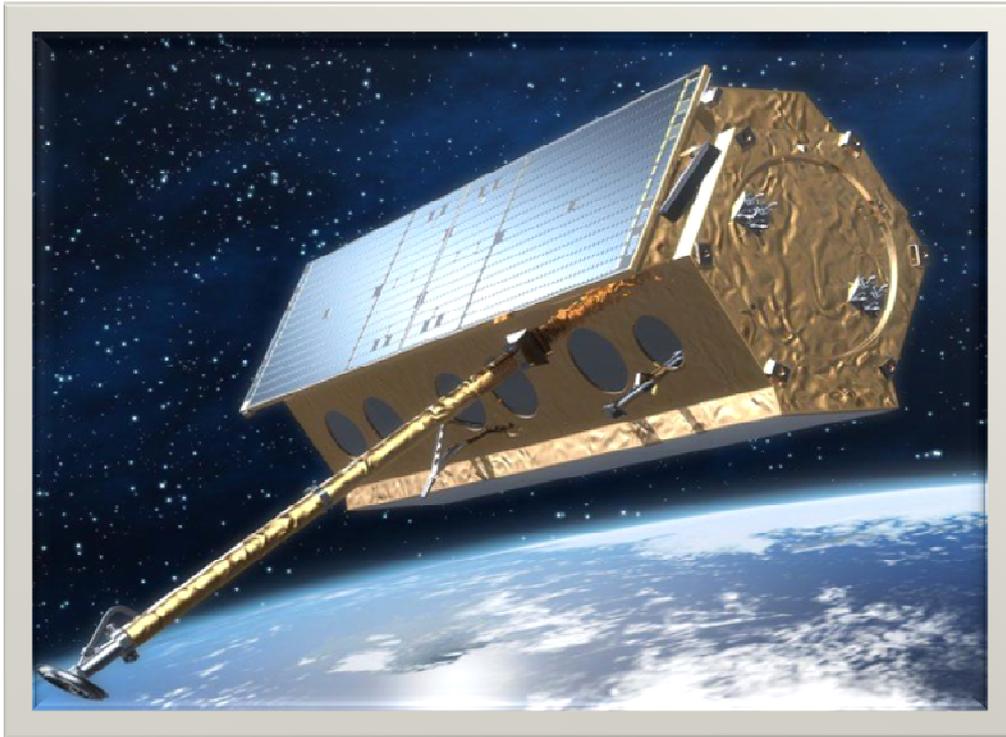


Figura 9. Space Segment

3.2.1 Sistema de alimentación (Generador Solar)

El lado orientado hacia el sol está cubierto por un panel solar compuesto por células de triple unión, formado por tres capas de materiales semiconductores: fosforo de galio indio, arseniuro de galio y germanio (Ge/GaAs/GaInP). Esto permite lograr una eficiencia de conversión igual a 32,3%. El módulo fotovoltaico proporciona una potencia media orbital de 800 W en las peores condiciones de iluminación, y de 1800 kW en las mejores.

3.2.2 Sistema de navegación

El control de posicionamiento en órbita de vuelo se lleva a cabo por el sistema de GPS /Tracker (seguimiento por GPS). El sistema de apuntamiento implementa un nuevo método desarrollado por DLR: el "Total cero Doppler". Esta innovación combina el control de desviación (dirección de desvío) con un control adicional en el terreno (campo de dirección), lo que permite obtener teóricamente 0 Hz Doppler de banda en

toda la gama de ángulos de incidencia a lo largo de la órbita; también actúa tanto para la geometría de right-looking como de left-looking, lo que mejora el rendimiento del procesamiento de SAR. El satélite está equipado con 78 kg de combustible (hidracina) para alimentar el sistema de propulsión, el control de posición y de la órbita, suficiente para 10 años de actividad.



Figura 10. TerraSAR-X en laboratorio

3.2.3 Gestión de datos

El sistema ICDE (Integrated Control and Data System Electronics), componente fundamental de la arquitectura, se compone de dos módulos de acoplamiento cruzado dotados de un procesador de 32 bits, con un rendimiento mayor de 18 MIPS y memoria destinada a mantener la información para el ajuste software de vuelo y gestión de datos. ICDE utiliza el UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) doblemente orientada a la interfaz con todos los dispositivos de a bordo, con la excepción de la LCT (láser terminal de comunicaciones). La masa del componente es de 12-18 kg y el consumo de energía, dependiendo de la configuración seleccionada, es de 15-30 vatios.

3.2.4 Sistema de comunicación

Para la recepción de las órdenes y de las transmisiones del sistema de telemetría se utiliza estándar S-Band TT & C con una cobertura de 360°. La transmisión en el enlace ascendente (freq. 4 kbit / s, 2025-2110 MHz, modulación BPSK) es encriptada, mientras que en el enlace descendente (freq. da 32 kbit / s hasta 1 Mbit / s, 2200-2400 MHz modulación BPSK) no lo es. Antes de ser transmitida (modulación DQPSK) a la estación receptora a la frecuencia de 300 Mbit/s a través de XDA (-band Downlink Assembly), los datos generados por las mediciones de SAR se almacenan a bordo, en el SSMM (sólido de memoria masiva de Estado) de capacidad de 256 Gbit. La antena de enlace descendente de datos SAR (*X-Band*) está montado en un brazo de 3,3 m para evitar la interferencia durante las operaciones simultáneas de imágenes de radar y transmisión de datos a la tierra. Los datos en bruto del SAR se comprimen, sólo después de aplicar el algoritmo de BAQ (Adaptative Quantization), que funciona en bloques de 128 muestras consecutivas con factor de compresión seleccionable de 8, 4, 3, 2 bits por muestra. El sistema también está preparado en caso de que no necesite realizar ningún tipo de compresión.

3.2.5 Sistema de medida

TerraSAR-X es un radar de apertura sintética (SAR) que consiste en una antena que funciona en la banda X (9.65GHz), que está



Figura 11. Uno de los 12 módulos de la antena

dispuesto a lo largo de la dirección del acimut de 4,80 m y en altura de 0,80 m. Se divide en 12 módulos, cada uno de los cuales contiene 32 sub-matrices dispuestas horizontalmente, cada uno que comprende un sistema radiante en una guía de ondas adecuada para ambos tipos de polarización HP y VP (Horizontal Polarization e Vertical Polarization).

Todas las 384 sub-series (elementos array) están equipadas con el módulo T/R (Transmisión / Recepción) que permite el paso de un tipo a otro de polarización. El dispositivo de la ECA (Antenna Control Electronics), que controla el SAR, permite transmitir y recibir un control en tiempo real de la iluminación de la forma del haz de apuntamiento ($\pm 0,75^\circ$ en acimut, $\pm 20^\circ$ en altura) y de la polarización.

Para cada tipo de radiación de la antena existe una combinación predefinida entre las 256 configuraciones en altura y las 256 configuraciones en acimut. La ACE está gestionado por la CE (control electrónico), que prevé la realización de las siguientes funciones:

- Generación y transmisión de la señal TX
- Recepción y conversión A/D de la señal RX
- Almacenamiento en buffer, comprensión y formato de los datos SAR
- Control y sincronización del SAR

La señal transmitida es producida por un generador digital que se refiere a 4 formas de onda, en longitud y ancho de banda (mayor que 150 MHz) predeterminado, almacenado en la memoria. Está previsto, aunque en vía experimental aún, también la generación de 4 formas de onda con ancho de banda superior a 300 MHz. En recepción, hay tres filtros anti-aliasing con frecuencia de muestreo de 110, 165, 330 MHz de los cuales se selecciona uno solo.

3.2.6 Carga útil secundaria (Secondary Payloads): LCT, TOR

A bordo del TerraSAR-X se llevaron a cabo dos experimentos secundarios. *Laser Communication Terminal* (LCT), construido por TESAT, constituye el futuro de la transmisión de datos en el espacio a través de la utilización de las frecuencias ópticas. Su uso permitirá la transmisión de grandes cantidades de datos a la tierra en un corto período de tiempo y la comunicación con otros satélites. Los términos de referencia (Tracking, Occultation and Ranging experiment) se compone de un receptor GPS de doble frecuencia. El sistema GPS permite una determinación de la órbita con una precisión mayor que 10 cm, lo que da lugar a una mejora significativa en términos de calidad de imagen.

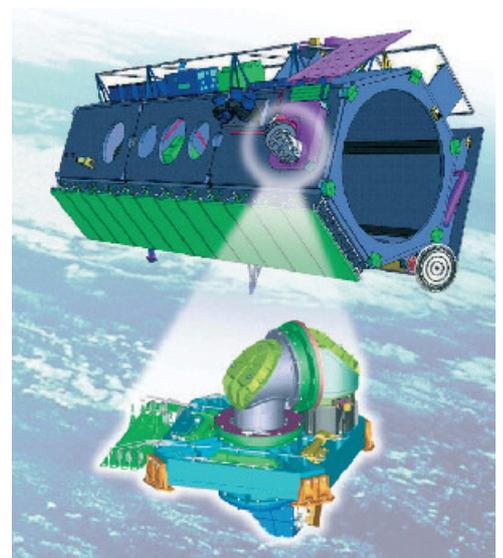


Figura 12. Laser de Comunicación Terminal

3.3 SEGMENTO TERRESTRE (Ground Segment)

El *ground segment* de la misión TerraSAR-X es el elemento principal para el control y la gestión del programa, se prevé la calibración de los sensores del satélite, el archivado de datos SAR y la generación y distribución de los productos obtenidos.



Figura 13. Antena en Neustrelitz

El sistema de gestión entero se divide entre DLR y EADS Infoterra, que es responsable de de la distribución comercial de productos SAR.

El DLR cuenta con diferentes organismos:

- MOS (Mission Operations Segment), la estación de Weilheim, dirigido por GSOC (German Space Operation Center)
- IOCS (Instrument Operation and Calibration Segment) Oberpfaffenhofen, desarrollado por Microwaves and Radar Institute (IHR)
- PGS (Payload Ground Segment), la estación de Neustrelitz, creado por la German Remote Sensing Data Center (DFD) y del Remote Sensing Technology Institute (IMF).

Estos organismos están involucrados en el desempeño de las siguientes funciones:

- Planificación de la misión
- Seguimiento y análisis de la órbita
- Telemetría de la nave espacial (en recepción y transmisión)
- Recepción y almacenamiento de los datos
- Calibración y análisis de rendimiento
- Creación y distribución de productos para el sector científico



Figura 14. German Space Operation Center de Weilheim

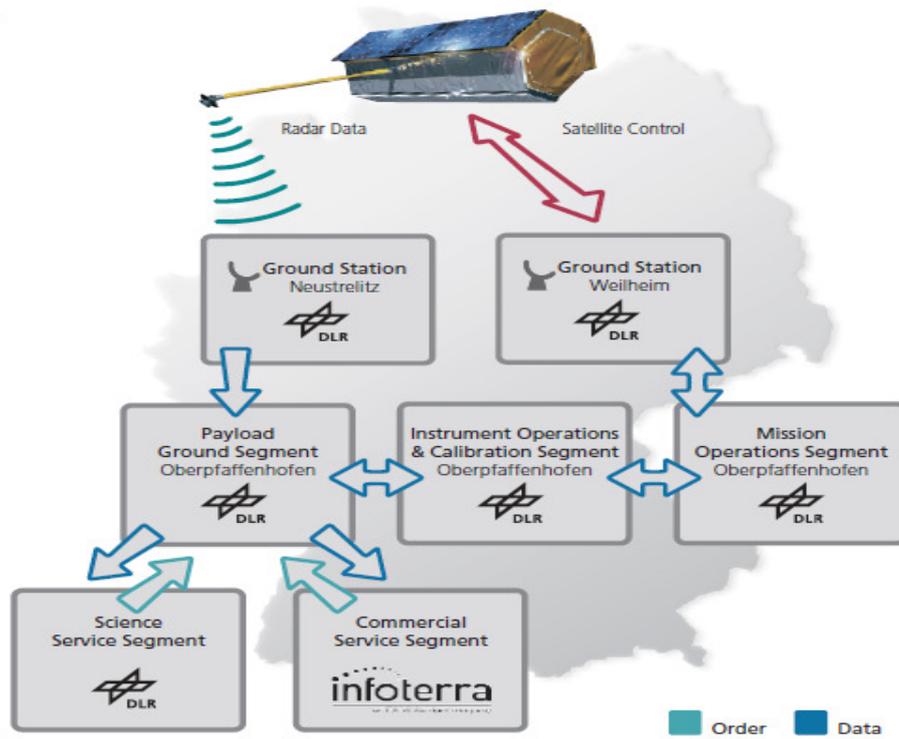


Figura 15. Ground Segment

4 ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES

4.1 ENVI (Environment for Visualizing Images)

ENVI (ENvironment for Visualizing Images) (User manual Envi, CEE 6150: Introduction to ENVI) es un sistema de procesamiento avanzado de imágenes diseñado para elaborar análisis globales a partir de imágenes tomadas tanto desde satélite como de avión. Proporciona un potente entorno, innovador y de trato amigable para visualizar y tratar imágenes de cualquier tamaño y tipología en una amplia gama de plataformas hardware.

Con la combinación de bandas dentro de un mismo fichero, incrementa el procesamiento de imágenes. ENVI permite trabajar con los ficheros íntegros de la imagen, las bandas individualmente, o ambos. Cuando se abre un fichero de entrada, cada banda espectral está disponible para todas las funciones del sistema. Con la apertura de ficheros múltiples, se puede seleccionar fácilmente bandas de diversos ficheros para un procesado conjunto de ellos. ENVI también incluye las herramientas para la extracción espectral, útiles bibliotecas espectrales, y una colección de datos espectrales para el análisis de imágenes espectrales de alta resolución tales como AVIRIS, GERIS, y GEOSCAN. Además de sus herramientas hiperespectrales para análisis de carácter general, ENVI proporciona capacidades especializadas para análisis de radares avanzados tales como los SIR-C, AIRSAR o TOPSAR.

ENVI está escrito enteramente en **IDL (Interactive Data Language)** (Liam E. Gumley Madison (2002)). IDL es un poderoso lenguaje de programación basado en matrices, que proporciona capacidades integradas de proceso y de visualización de imágenes, y facilita las rutinas del interfaz gráfico. IDL está disponible dentro de ENVI (ofreciendo capacidades completas en la línea de comando de ENVI) y de ENVI RT (la versión runtime de ENVI). La única diferencia entre ENVI y ENVIRT es que ENVI RT no proporciona acceso de uso al entorno base de IDL.

4.2 LA REALIDAD SOBRE EL TERRENO (GROUND TRUTH)

4.2.1 Google Earth

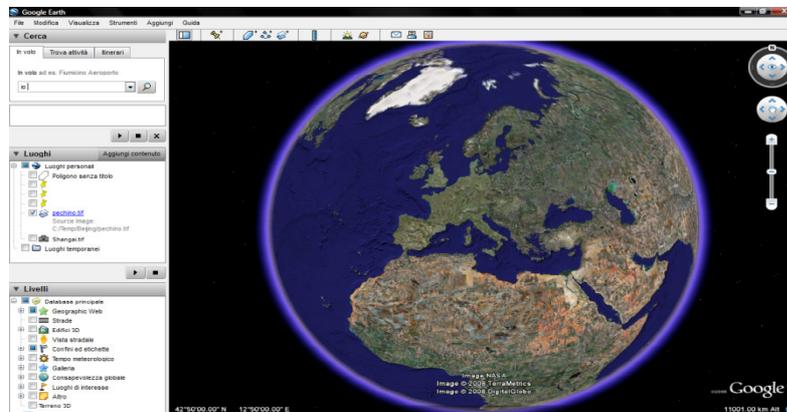


Figura 16. Captura de pantalla de Google Earth

Para la creación de la realidad a tierra (RaT), se puede utilizar el software Google Earth (G.E.), descargado gratuitamente. Se trata de un programa que genera imágenes virtuales de La Tierra utilizando fotos satelitales, fotografías aéreas y datos topográficos, memorizados en una plataforma GIS (*Geographical Information System*). Por *realidad sobre el terreno (Ground Truth)* se entiende aquella información relativa a la clase perteneciente a cada uno de los píxeles de la imagen teledetectada; normalmente se obtiene por conocimiento directo de la zona, por inspección o por interpretación manual.

Utilizando el comando *Cursor Location Value* es posible conocer las coordenadas geográficas de cualquier píxel de la imagen radar. Esto hace posible la identificación de Latitud y Longitud relativa a los cuatro ángulos de la imagen y su descarga en Google Earth, de modo que podamos encontrar la correspondencia exacta con la imagen radar. Lo hacemos como ejemplo para nuestras imágenes de Shanghai y Pekín.

	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>
<i>Alto/Izquierda</i>	31,27055637 N	121,46201265 E
<i>Alto/Derecha</i>	31,26083971 N	121,53170221 E
<i>Bajo/Izquierda</i>	31,22329601 N	121,45310351 E
<i>Bajo/Derecha</i>	31,21358305 N	121,52275886 E

Tabla 1. Coordenadas geográficas imagen Shanghai

	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>
<i>Alto/Izquierda</i>	40,02035553 N	116,34938262 E
<i>Alto/Derecha</i>	40,00583340 N	116,45016363 E
<i>Bajo/Izquierda</i>	39,97460365 N	116,33827326 E
<i>Bajo/Derecha</i>	39.96009061 N	116,43898917 E

Tabla 2. Coordenadas geográficas imagen Pekín

Identificada el área sobre G.E., después de haber guardado la imagen con resolución 4800 ppi (Alta calidad), podrían ser cargadas en ENVI.

4.3 PRE-ELABORACIÓN

4.3.1 Carga de las imágenes

Lo primero que hacemos es realizar la carga de las imágenes, los archivos fueron cargados a través del software ENVI, específico para la visualización y el análisis de las imágenes de teledetección tal y como comentamos antes.

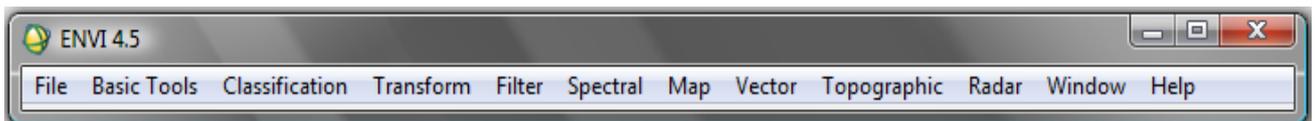


Figura 17. Barra de control de ENVI

Cada vez que se quiere cargar una imagen se debe decidir la banda (o las bandas), que se quieren utilizar, del panel *Available Band List*; las bandas pueden ser visualizadas en todo gris (*Grey Scale*) o en escala tricromática (*RGB Color*). Las imágenes originales han sido proporcionadas en formato TIF y fueron abiertas en *Grey Scale*. En nuestro caso sólo tenemos una banda por tanto:

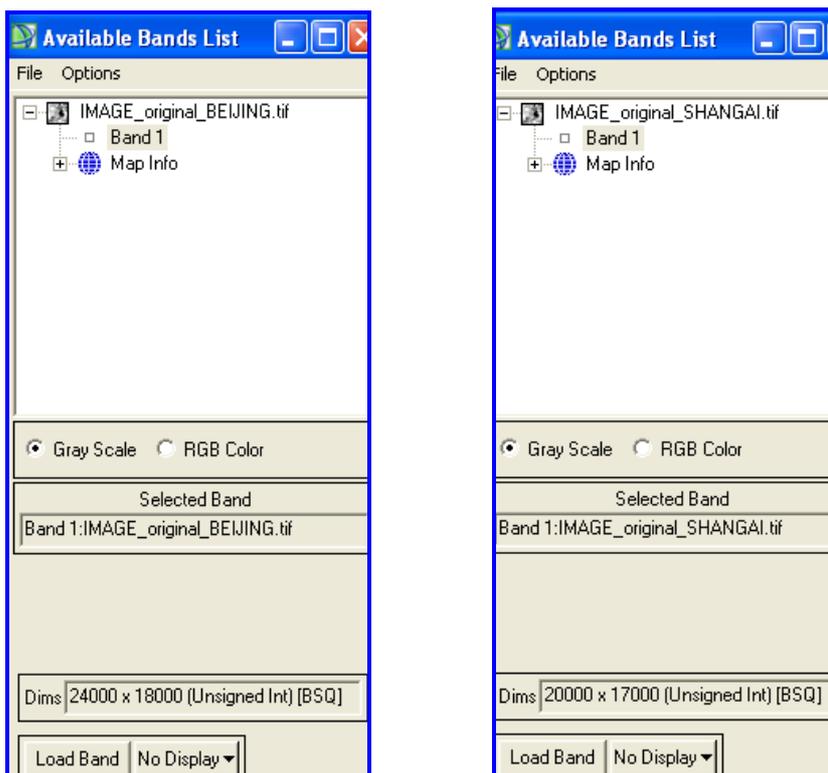


Figura 18. Carga de imágenes con ENVI

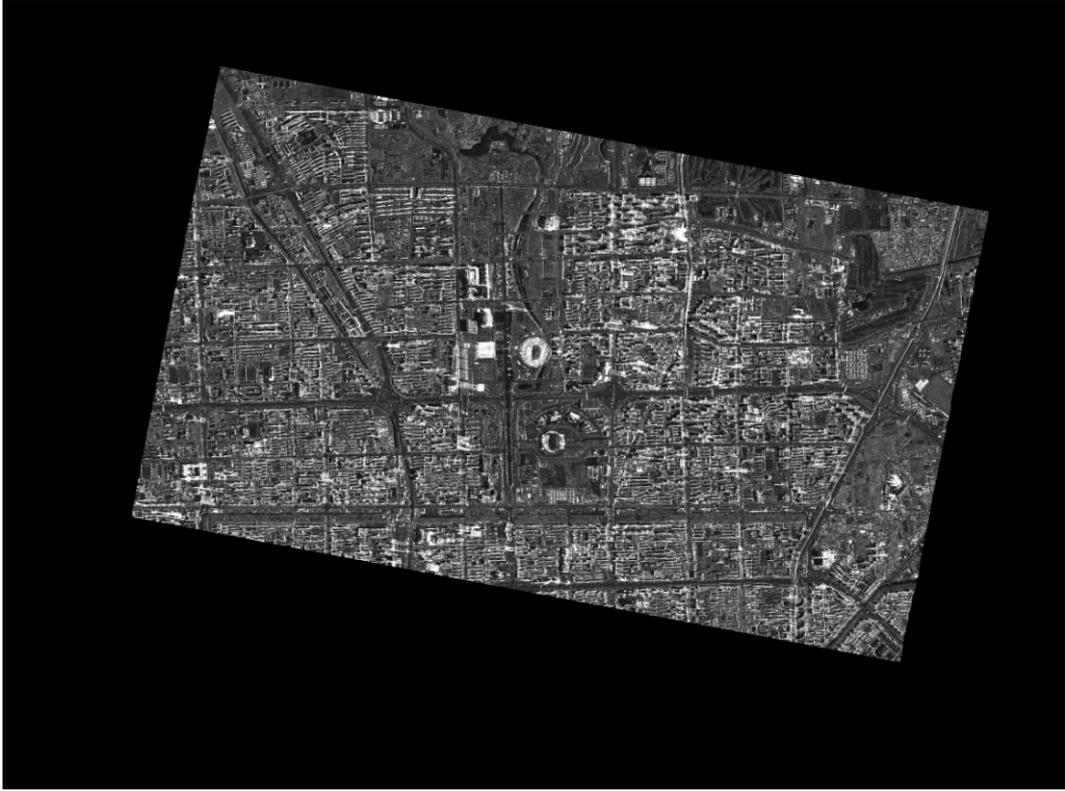


Figura 19. Imagen radar original de Pekín



Figura 20. Imagen radar original de Shangai

4.4 LA CLASIFICACIÓN

4.4.1 Las zonas de interés (ROI, region of interes)

Se define *clasificación* a la asignación de cada porción de superficie terrestre en la zona observada a una determinada *clase*, o categoría homogénea. El resultado de la clasificación es un mapa que en vez de reportar los elementos habituales que estamos acostumbrados a encontrar en un mapa geográfico, reporta las clases.

En el caso de la teledetección, la clasificación significa generalmente asignar a cada píxel de la imagen relativa a la zona observada, una clase.

Existen dos tipos de clasificación: no supervisada y supervisada. En la primera no se usa información a priori, o no se dice al clasificador qué se está buscando, pero generalmente parámetros establecidos por el operador (Ej. El número de clases); los píxel son reagrupados por recíproca semejanza.

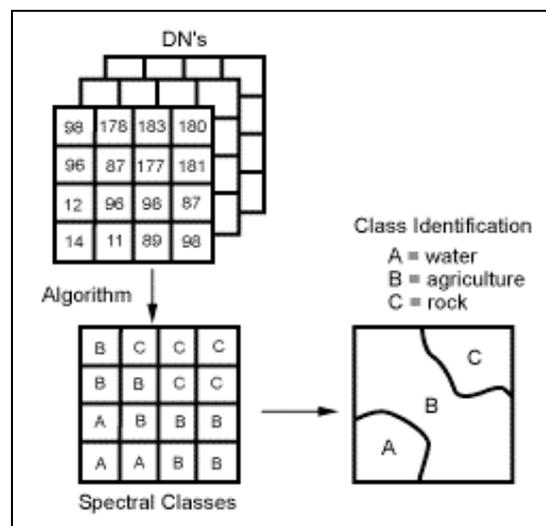


Figura 212. La clasificación no supervisada

En la clasificación supervisada (o con supervisión) antes de empezar la clasificación, se “enseña” a un clasificador a reconocer las clases de interés. En ENVI, estas clases tienen el nombre de *ROI (Region Of Interest)*. Estas deben ser obtenidas de información conocida. Por esto viene utilizada la imagen Google Earth, mucho más fácilmente interpretable a diferencia de la imagen radar. Sobre ésta se pueden reconocer casas, cursos de agua, zonas de vegetación. Con una atenta evaluación se pueden distinguir las zonas en las cuales se está en presencia de edificios altos o bajos o su ausencia.

En el caso de estudio, se ha elegido identificar diferentes ROI para las dos ciudades.

Shangai, a diferencia de Pekín, presenta una mayor inhomogeneidad en sus edificios. En un área de cerca de 25 km, se pueden encontrar rascacielos, casas adosadas, palacios, y también villas. También la presencia del río Huangpu debe ser evaluada atentamente, para evitar grandes errores en los cálculos. Por ello se ha elegido identificar 5 ROI en la ciudad más poblada de China: baja (1 planta), media (2 o 3

plantas), alta (de 3 a 15 plantas), rascacielos (más de 15 plantas), agua (el río Huangpu); los nombres respetan la naturaleza de las ROI y en particular la altura de los edificios.

Para Pekín, después de haber evaluado atentamente la imagen de Google Earth, se han identificado solo cuatro ROI, no habiendo una inhomogeneidad entre los edificios presente en cambio en Shanghai. La zona de interés muestra la parte más moderna de la ciudad, en particular en el centro es fácilmente distinguible el pueblo olímpico con el famoso *Bird's Nest* (Estadio Olímpico). Se trata por tanto de una zona nueva, con pocos edificios bajos; también a diferencia de la zona de Shanghai, están presentes muchas áreas verdes. Las cuatro ROI son: medio-baja (entre 1 y 3 plantas), medio-alta (entre 3 y 15 plantas), rascacielos (más de 15 plantas), vegetación (parques, prados y árboles).

Para dividir las ROI en ENVI, del menú *Basic Tools*, se selecciona *Region Of Interest* y sucesivamente *ROI Tool*. Se abrirá el panel de control mostrado en la figura 23.

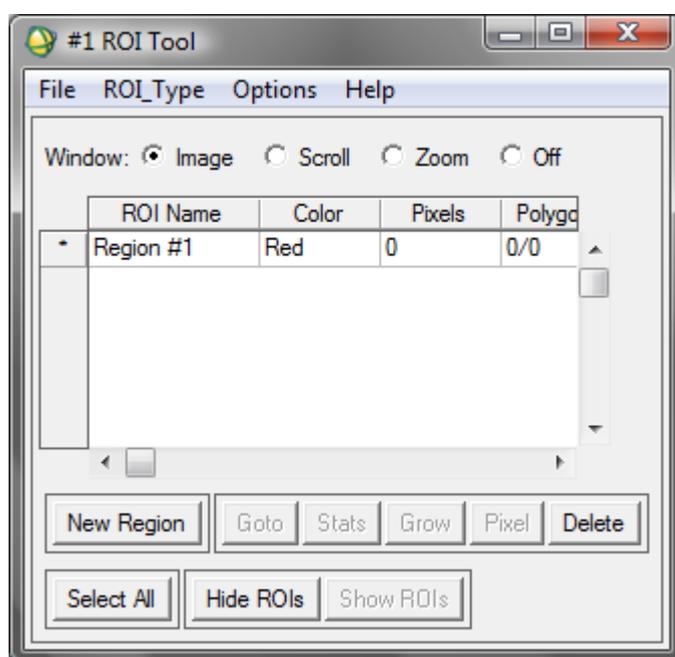


Figura 22. El ROI Tool

Para añadir una nueva ROI, se necesita pulsar sobre el botón *New Region*: se selecciona manualmente sobre la imagen las zonas que forman parte en dicha ROI; para hacer esto se puede o bien trazar los límites en la ROI o eligiendo los ángulos de los polígonos que lo contienen. Para cada ROI se asocia después un color diverso, para mejorar la visualización y la evaluación.

Para la selección de la ROI, se debe realizar una interpretación personal de la foto de G.E., basándose particularmente en las sombras de los edificios para encontrar una estimación de la altura.

Se dividen ambas imágenes en ROIS en las que cada una de ellas comprenda más o menos una manzana en la distribución del mapa urbano que podemos distinguir en la imagen RADAR. Posteriormente se hará una unificación de los trozos correspondientes para identificar cada una de las zonas de las que hablabamos anteriormente. Quedando después reducidas a las 5 regiones de interés (ROI) para Shangai, y 4 ROI en el caso de la imagen de Pekín.

Se realiza la división de las ROI, sin recortar los trozos negros que aparecen en ambas imágenes radar originales de las dos ciudades, ya que se piensa que esto puede llevar a pérdida de información.

Vemos como se realiza en el caso de Pekín siendo análogo para el caso de Shangai. Se crean las ROIS pero aún sin ponerles nombres (solo 1, 2, 3....), creando hasta 62 regiones para este caso.

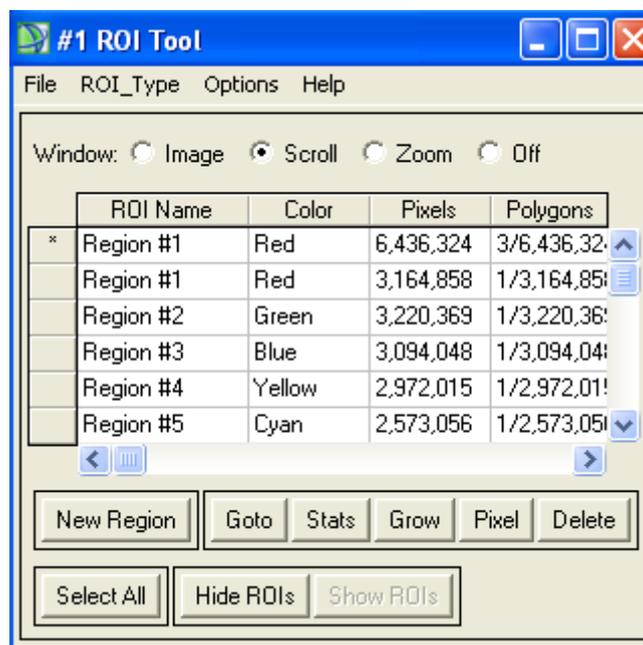


Figura 23. División de la imagen en ROI sin identificar aún

Comparando con la imagen de Google Earth (G.E.) para posteriormente poder unificar los trozos que se considere pertenecen a cada una de las zonas descritas para ambas ciudades.



Figura 24. Imagen Google Earth Pekín

En el caso de Pekín se obtienen 62 regiones de interés (ROI):

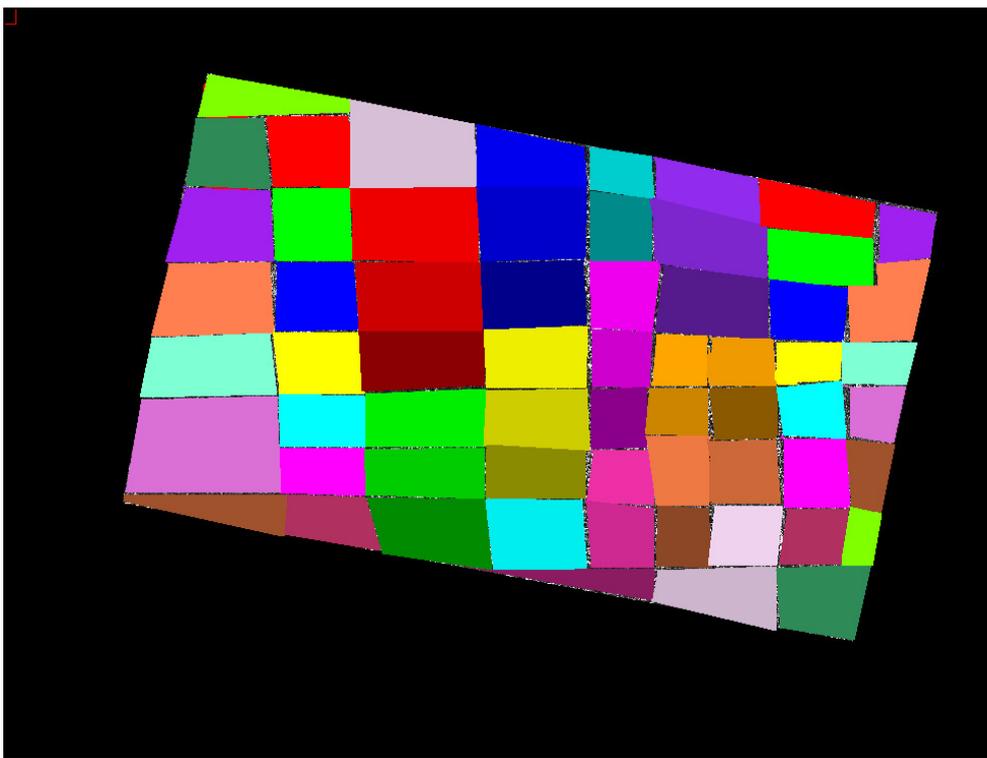


Figura 25. 62 ROI imagen radar Pekín

Y en el caso de Shangai se obtienen 72 regiones de interés (ROI):

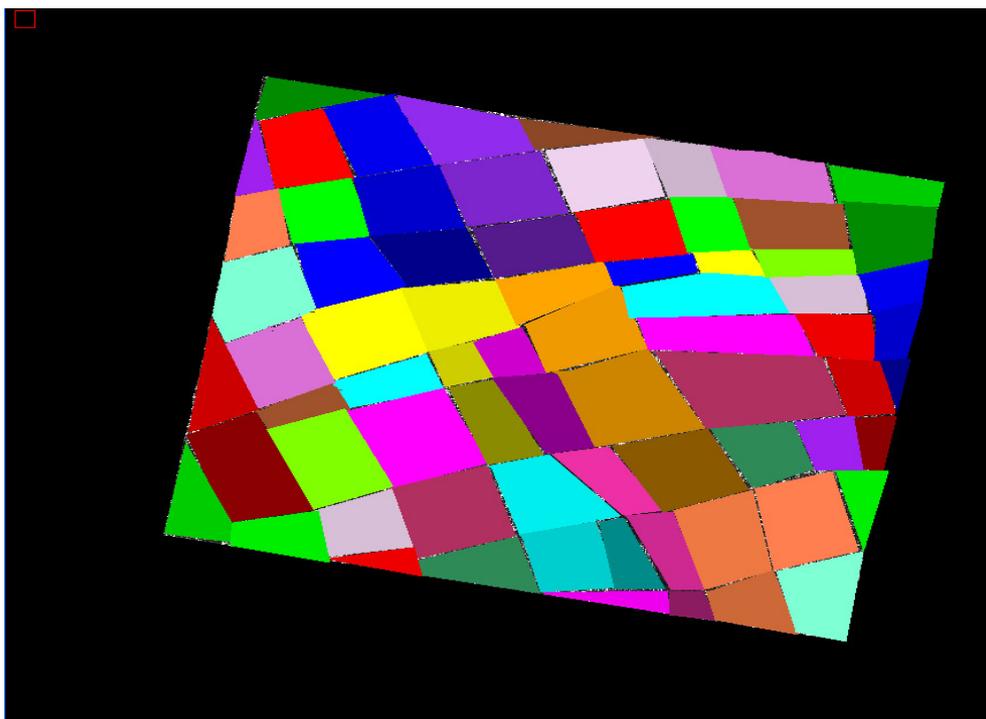


Figura 26. 72 ROI imagen radar Shangai

En el caso de Pekín se crean 4 ROIS que como se comentó antes, serían: medio-baja (entre 1 y 3 plantas), medio-alta (entre 3 y 15 plantas), rascacielos (más de 15 plantas), vegetación (parques, prados y árboles), unificando aquellos trozos cuyas características hagan que pertenezcan a cada una de ellas. Para ello se debe realizar la comparación con la imagen de GOOGLE EARTH de la que ya se habló anteriormente en la que la distinción de las distintas zonas nos resultará más sencilla de ver a simple vista.

Para realizar la unificación de las distintas regiones se emplea la herramienta BAND MATH de envi.

Band Math es una herramienta que se utiliza para generar índices de diversos tipos (**Basic Tools > Band Math**), allí es posible crear cualquier fórmula que relacione algebraica o lógicamente dos o más bandas, las que incluso pueden provenir de diferentes archivos, con el único requisito que deben tener el mismo número de líneas (rows) y de columnas (samples). Por *banda* se entiende el intervalo de longitud de onda dentro del espectro electromagnético; y por extensión a nuestro caso se denomina banda a cada uno de los canales de adquisición de datos de un sistema sensor.

Para crear las fórmulas se utilizan nombres genéricos (B1, B2, B3, etc.) para que en la siguiente ventana se pueda asignar cada Bx a una banda de un archivo (el programa no permite aplicar la fórmula hasta que no están definidas todas las bandas que se hayan establecido en la fórmula). De esta forma se consigue que las regiones señaladas sean iguales a 1 y al resto se asigna 0 para que no aparezcan.

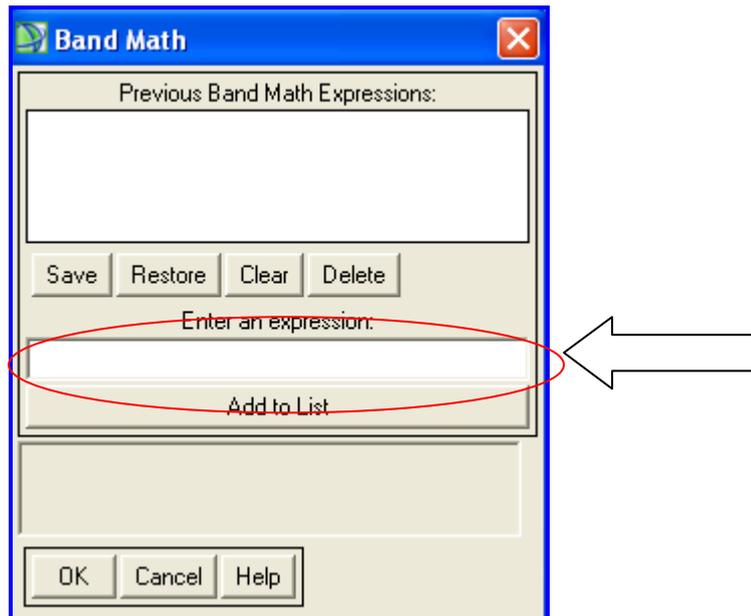


Figura 27. Panel de control Band Math

Para el caso en cuestión se introducen las siguientes expresiones para cada una de las clases:

Para vegetación:

(b1 EQ 4) OR (b1 EQ 7) OR (b1 EQ 8) OR (b1 EQ 13) OR (b1 EQ 15) OR (b1 EQ 19)
 OR (b1 EQ 20) OR (b1 EQ 21) OR (b1 EQ 22) OR (b1 EQ 28) OR (b1 EQ 35) OR (b1
 EQ 37) OR (b1 EQ 38) OR (b1 EQ 46) OR (b1 EQ 47) OR (b1 EQ 49) OR (b1 EQ 50)
 OR (b1 EQ 57) OR (b1 EQ 58) OR (b1 EQ 59) OR (b1 EQ 60)

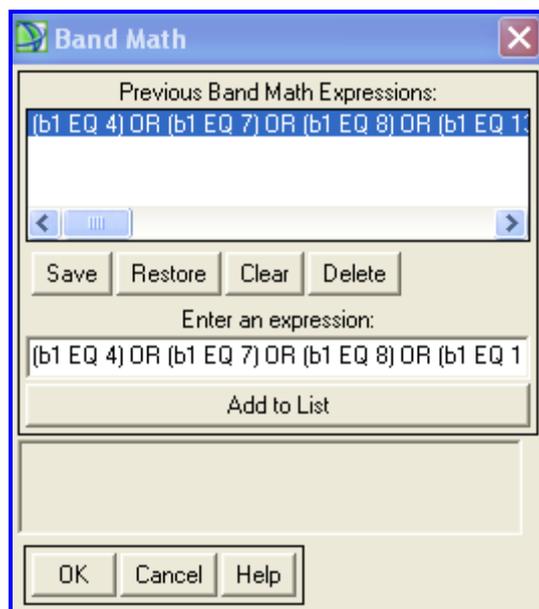


Figura 28. Introducción expresión en Band Math

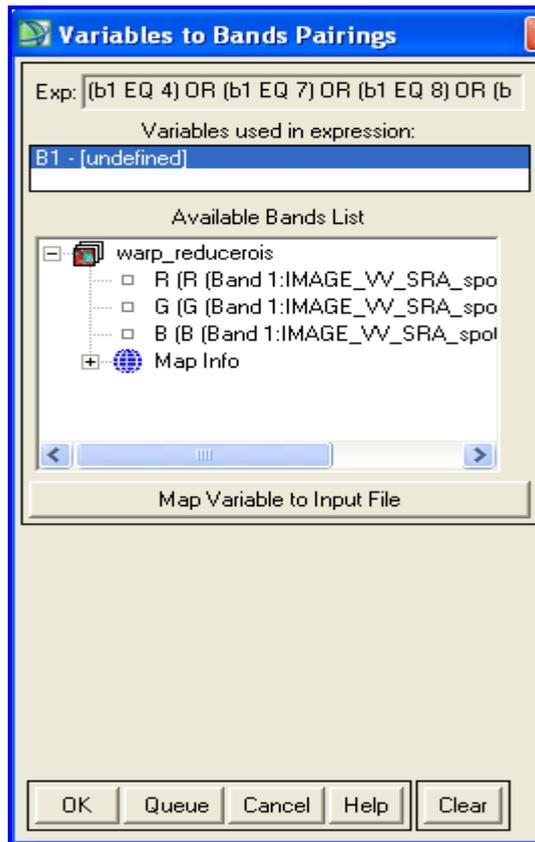


Figura 29. Variables to Bands Pairings

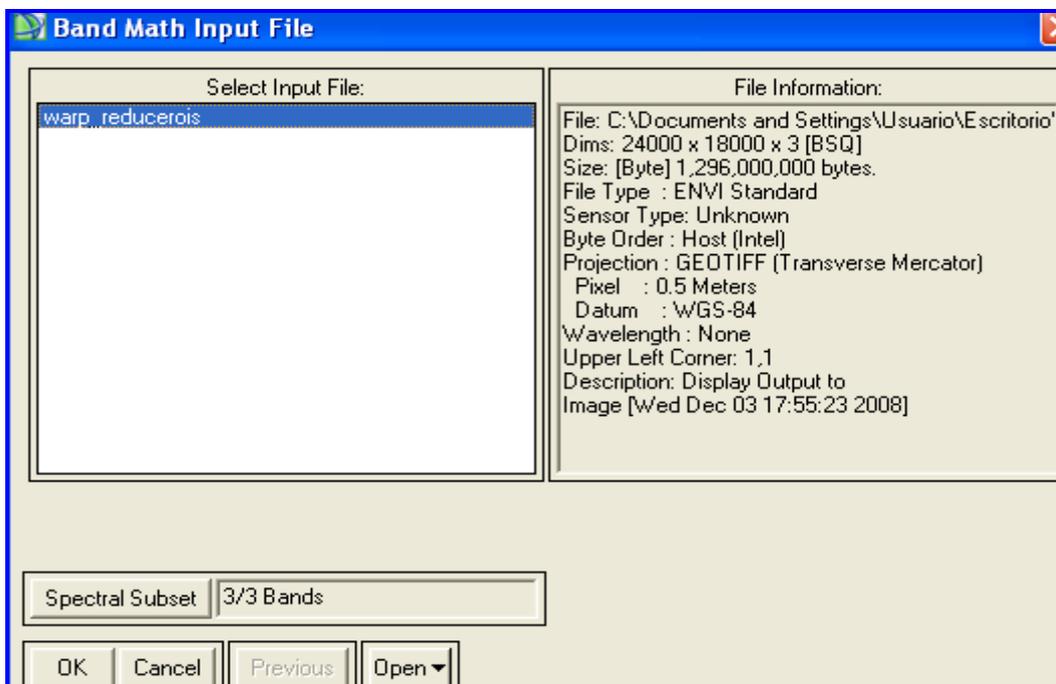


Figura 30. Band Math Input File

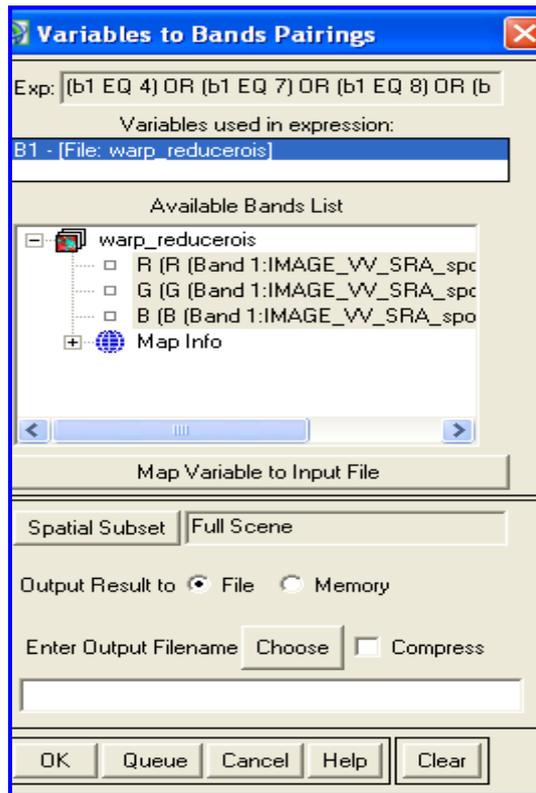


Figura 31. Band Math Input File seleccionado

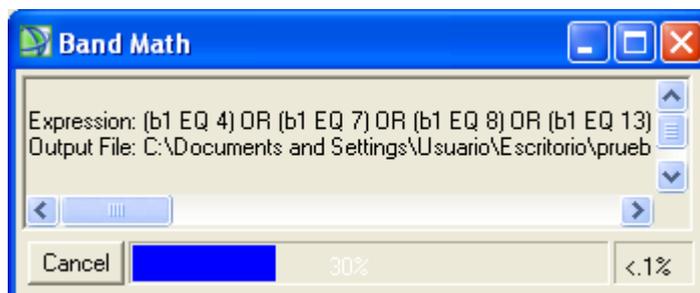


Figura 32. Ejecutando Band Math

De esta forma se crea un file.roi, el cual se guarda y asigna un nombre (vegetación, edificio medio alto, medio bajo y rascacielos). Se hace para cada una de las regiones combinadas que quiero crear de ROIS (vegetación, edificio medio alto.....). El archivo sobre el que se realiza esto en Band Math es el 'reducerois' en el cual para crearlo se dividió la imagen original en ROIs (cada una de una manzana más o menos) a la cual se aplica un *classification from Rois* convirtiéndose en un FILE, obteniendo finalmente:

Para Vegetación Pekín:

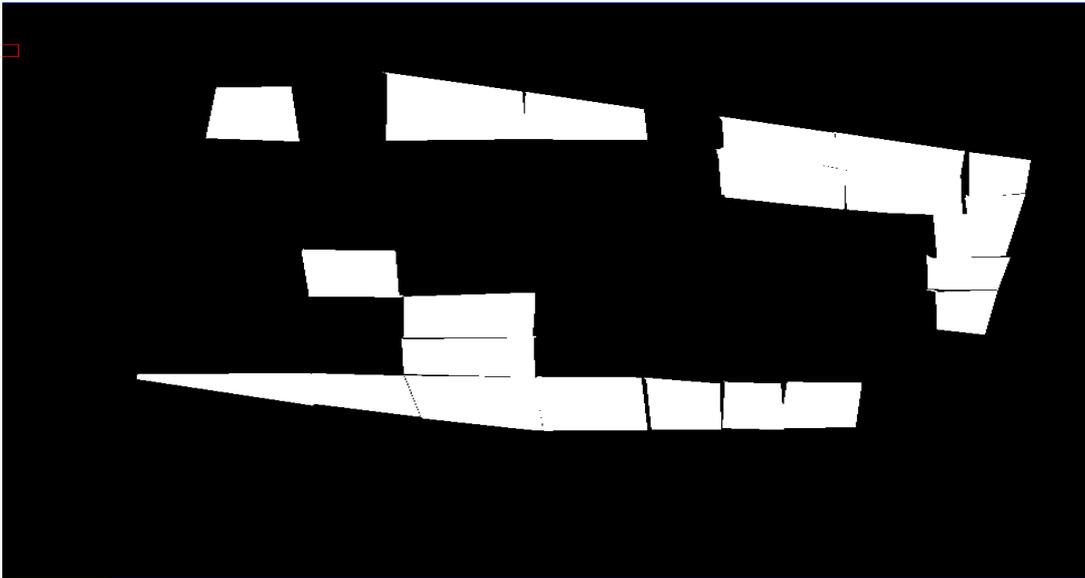


Figura 33. ROI vegetación Pekín

Se hace lo mismo para el resto de regiones.

Medio-Alta Pekín:

(b1 EQ 1) OR (b1 EQ 2) OR (b1 EQ 10) OR (b1 EQ 11) OR (b1 EQ 12) OR (b1 EQ 16) OR (b1 EQ 17) OR (b1 EQ 24) OR (b1 EQ 31) OR (b1 EQ 32) OR (b1 EQ 33) OR (b1 EQ 34) OR (b1 EQ 40) OR (b1 EQ 41) OR (b1 EQ 44) OR (b1 EQ 45) OR (b1 EQ 51) OR (b1 EQ 52) OR (b1 EQ 53) OR (b1 EQ 54)

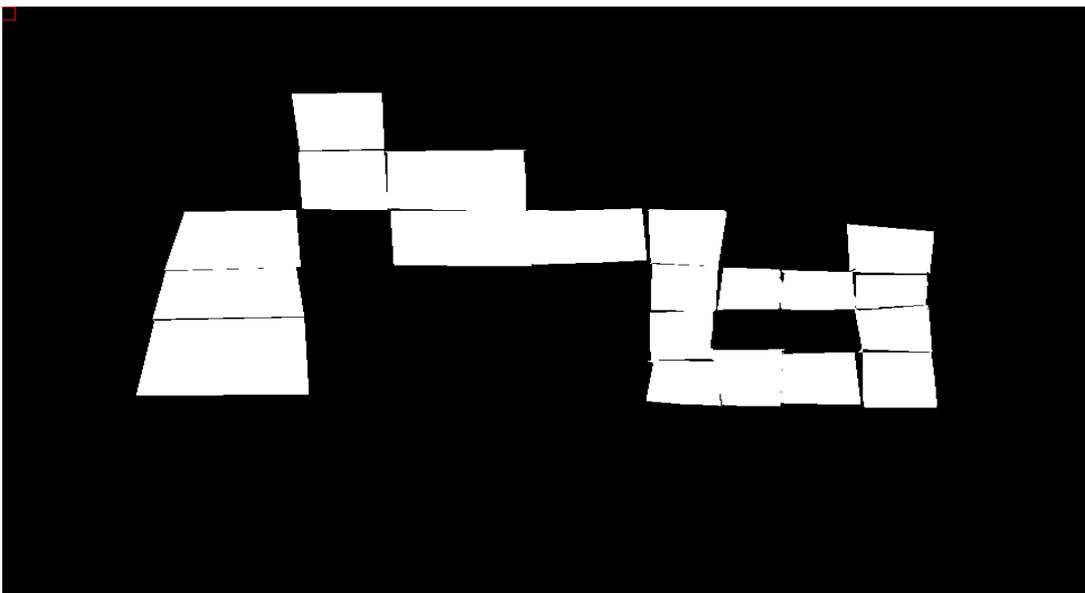


Figura 34. ROI Medio-Alta Pekín

Medio-Baja Pekín:

(b1EQ3) OR (b1 EQ 5) OR (b1 EQ 9) OR (b1 EQ 14) OR (b1 EQ 29) OR (b1 EQ 48)
OR (b1 EQ 55) OR (b1 EQ 56) OR (b1 EQ 61) OR (b1 EQ 62)

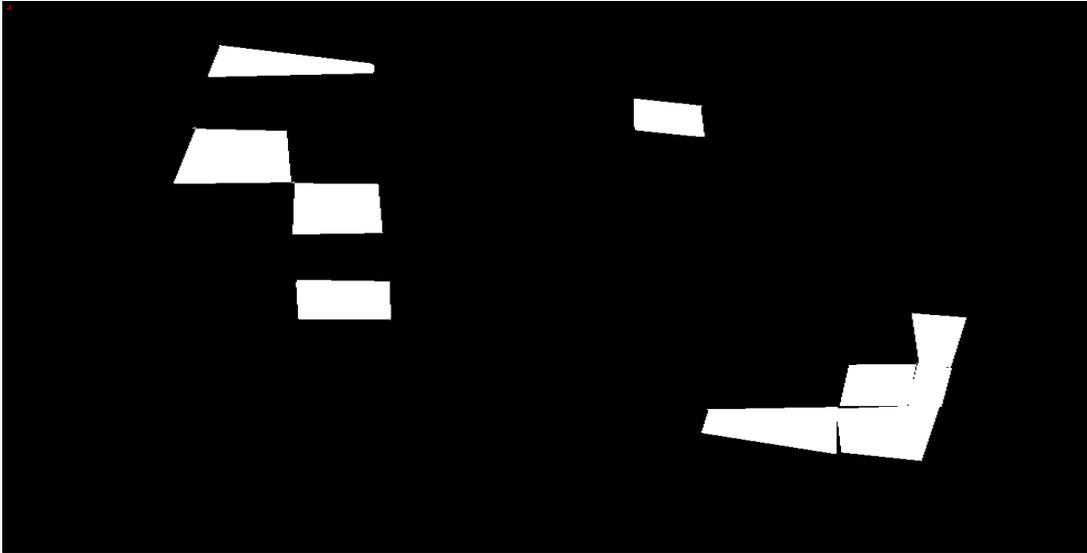


Figura 35. ROI Medio-Baja Pekín

Rascacielos Pekín:

(b1 EQ 6) OR (b1 EQ 18) OR (b1 EQ 23) OR (b1 EQ 25) OR (b1 EQ 26) OR (b1 EQ 27)
OR (b1 EQ 30) OR (b1 EQ 36) OR (b1 EQ 39) OR (b1 EQ 42) OR (b1 EQ 43)

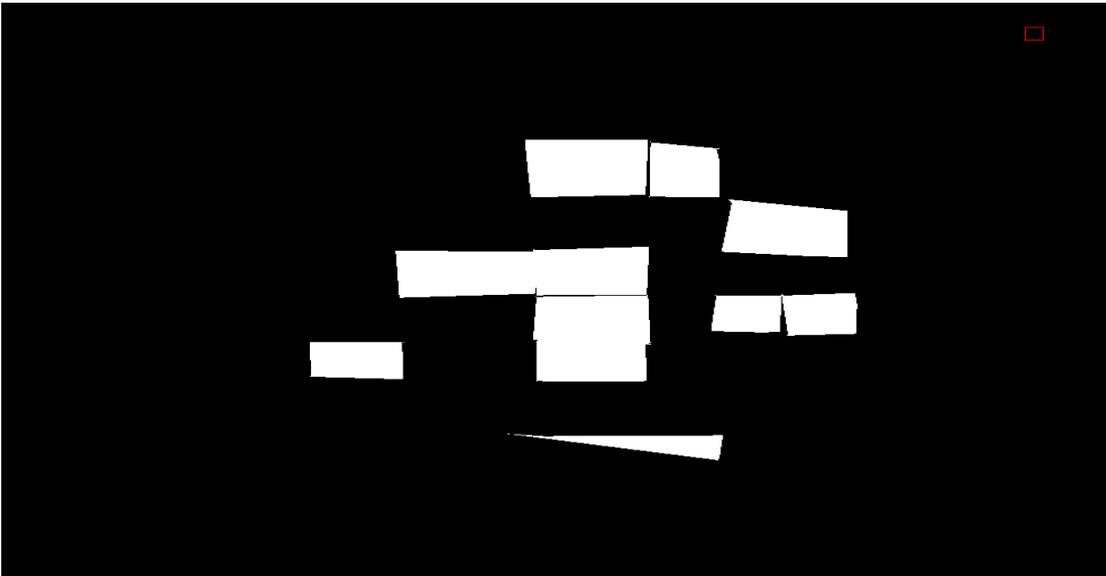


Figura 36. ROI Rascacielos Pekín

Para el caso de SHANGAI las 5 ROI en las que se realiza su división son: basse (bajo, 1 planta), medie (medio, 2 o 3 plantas), alte (altao, de 3 a 15 plantas), grattacieli (rascacielos, más de 15 plantas), acqua (agua, el río Huangpu).

Agua Shangai:

(b1 EQ 32) OR (b1 EQ 33) OR (b1 EQ 34) OR (b1 EQ 35) OR (b1 EQ 36) OR (b1 EQ 41) OR (b1 EQ 53) OR (b1 EQ 63) OR (b1 EQ 70)

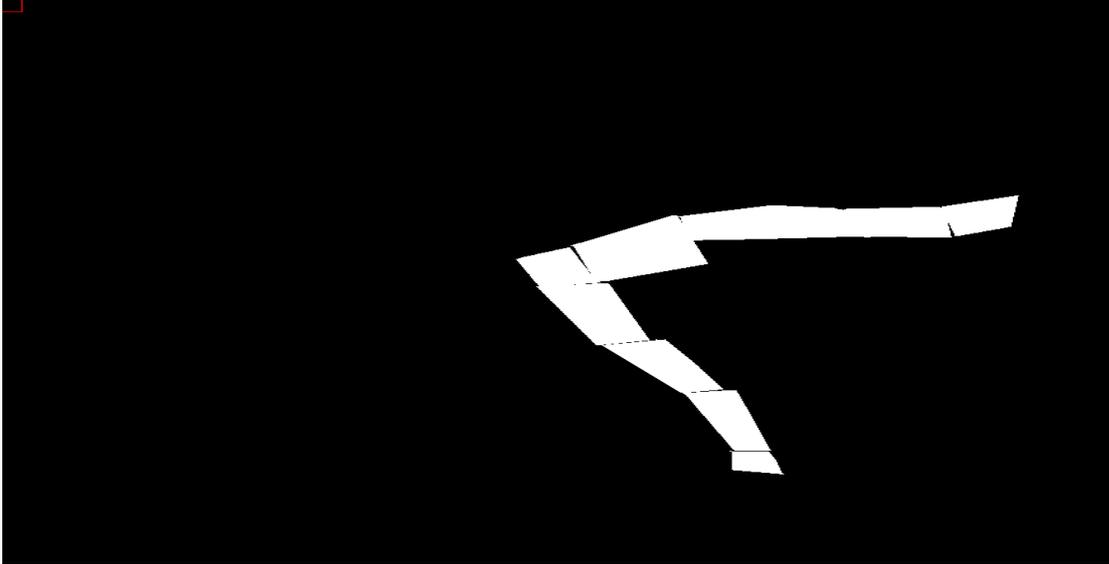


Figura 37. ROI Agua Shangai

Baja Shangai:

(b1 EQ 2) OR (b1 EQ 3) OR (b1 EQ 4) OR (b1 EQ 5) OR (b1 EQ 7) OR (b1 EQ 8) OR (b1 EQ 16) OR (b1 EQ 17) OR (b1 EQ 19) OR (b1 EQ 20) OR (b1 EQ 22) OR (b1 EQ 23) OR (b1 EQ 24) OR (b1 EQ 28) OR (b1 EQ 29) OR (b1 EQ 31) OR (b1 EQ 40) OR (b1 EQ 47) OR (b1 EQ 48) OR (b1 EQ 49) OR (b1 EQ 50) OR (b1 EQ 52) OR (b1 EQ 60) OR (b1 EQ 61) OR (b1 EQ 62)

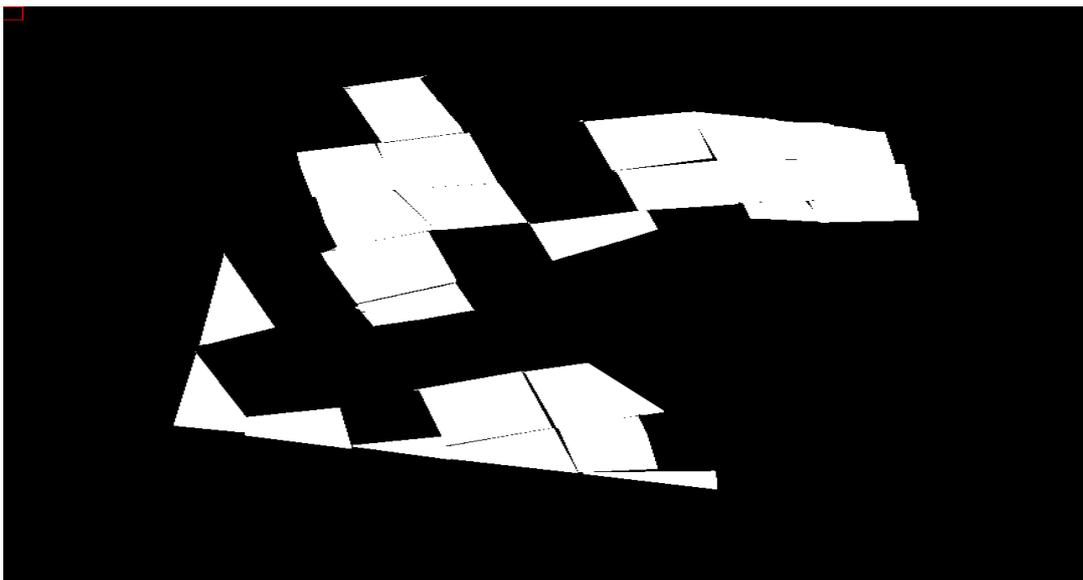


Figura 38. ROI Baja Shangai

Media Shangai:

(b1 EQ 1) OR (b1 EQ 9) OR (b1 EQ 21) OR (b1 EQ 45) OR (b1 EQ 55) OR (b1 EQ 57) OR (b1 EQ 58) OR (b1 EQ 59) OR (b1 EQ 65) OR (b1 EQ 66) OR (b1 EQ 67) OR (b1 EQ 68) OR (b1 EQ 69) OR (b1 EQ 71) OR (b1 EQ 72)

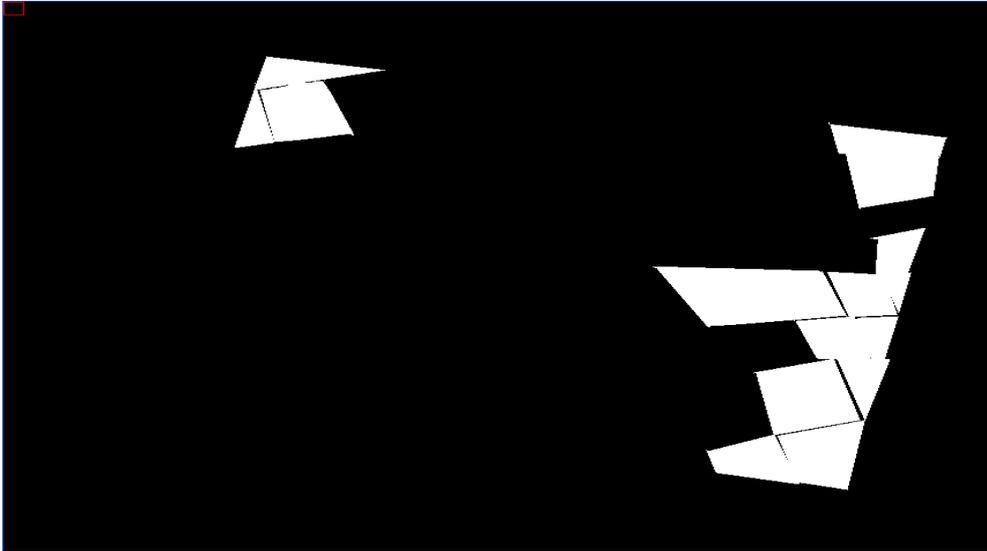


Figura 39. ROI Media Shangai

Alta Shangai:

(b1 EQ 6) OR (b1 EQ 10) OR (b1 EQ 11) OR (b1 EQ 12) OR (b1 EQ 13) OR (b1 EQ 14) OR (b1 EQ 15) OR (b1 EQ 18) OR (b1 EQ 25) OR (b1 EQ 26) OR (b1 EQ 27) OR (b1 EQ 30) OR (b1 EQ 37) OR (b1 EQ 38) OR (b1 EQ 39) OR (b1 EQ 43) OR (b1 EQ 44) OR (b1 EQ 46) OR (b1 EQ 51) OR (b1 EQ 54) OR (b1 EQ 56) OR (b1 EQ 64)

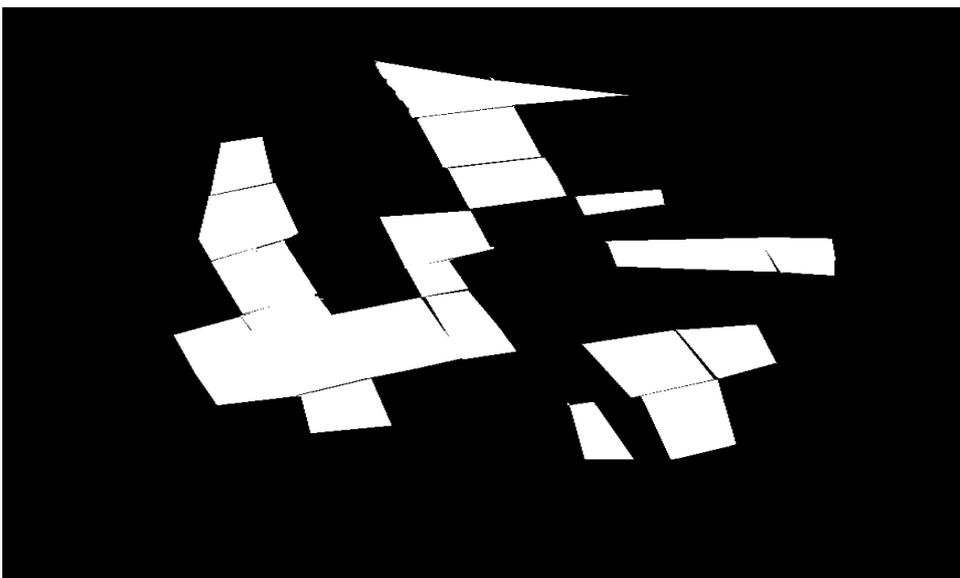


Figura 40. ROI Alta Shangai

Rascacielos Shangai:

(b1 EQ 42)

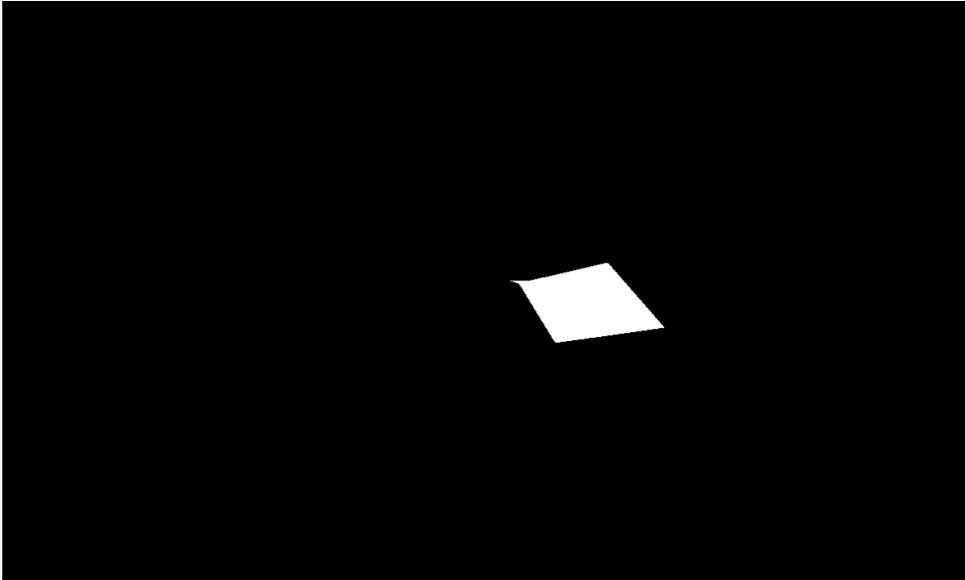


Figura 41. ROI Rascacielos Shangai

De esta forma, se podrá obtener de cada una de estas nuevas imágenes que se han creado, los diferentes valores estadísticos que se necesitan para poder realizar la clasificación de las diversas zonas.

4.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS PÍXEL

4.5.1 Parámetros estadísticos e histogramas

Para realizar el análisis estadístico de los píxel de las imágenes se usan las imágenes de cada una de las clases obtenidas en el apartado anterior, las cuales se utilizarán como diferentes máscaras (band mask) de las imágenes radar originales de Pekín y Shanghai. También se podrían obtener realizando la correspondiente programación en lenguaje IDL que también se explicará a continuación.

Una máscara es una imagen binaria que consiste en valores de 0 y 1. Cuando una máscara es usada en el procesamiento de una función, ENVI incluye el área con valores de 1 e ignora en los cálculos los valores que son enmascarados como 0 para la realización de los cálculos, lo cual ya se realizó empleando la herramienta BAND MATH. De esta forma se va al menú BASIC TOOLS → Statistics → Compute Statistics, se cargan las imágenes originales y luego se debe de seleccionar → Mask Band, que serán cada una de las nuevas imágenes que se han creado con la separación de las diferentes ROIS y que ahora se usarán como máscara cada vez con una diferente para la imagen original. Que en el caso de Pekín se hará para cada una de las 4 imágenes nuevas creadas, y para el caso de SHANGAI será con cada una de las 5 de las que ya se habló antes.

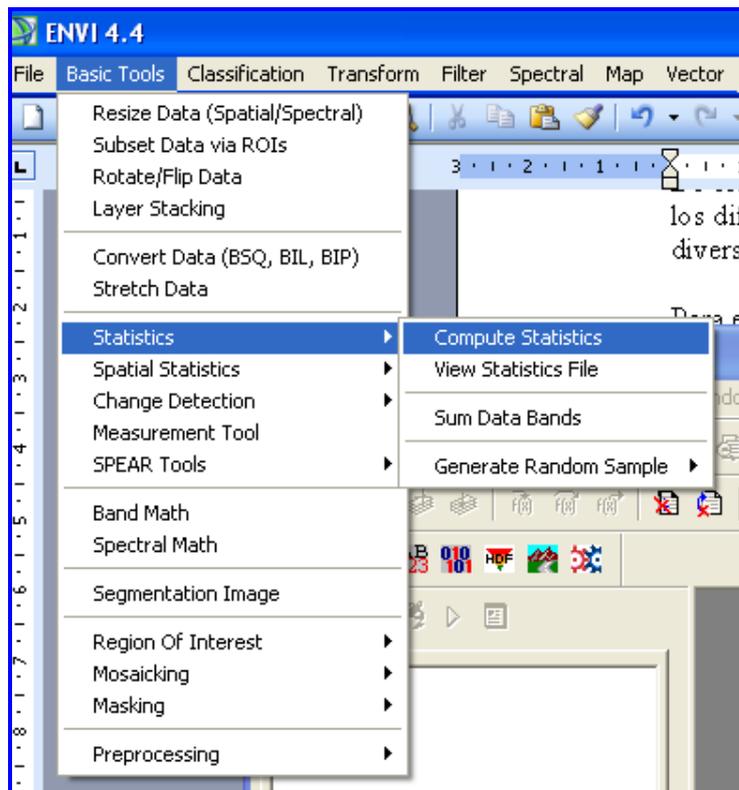


Figura 42. Compute Statistics ENVI

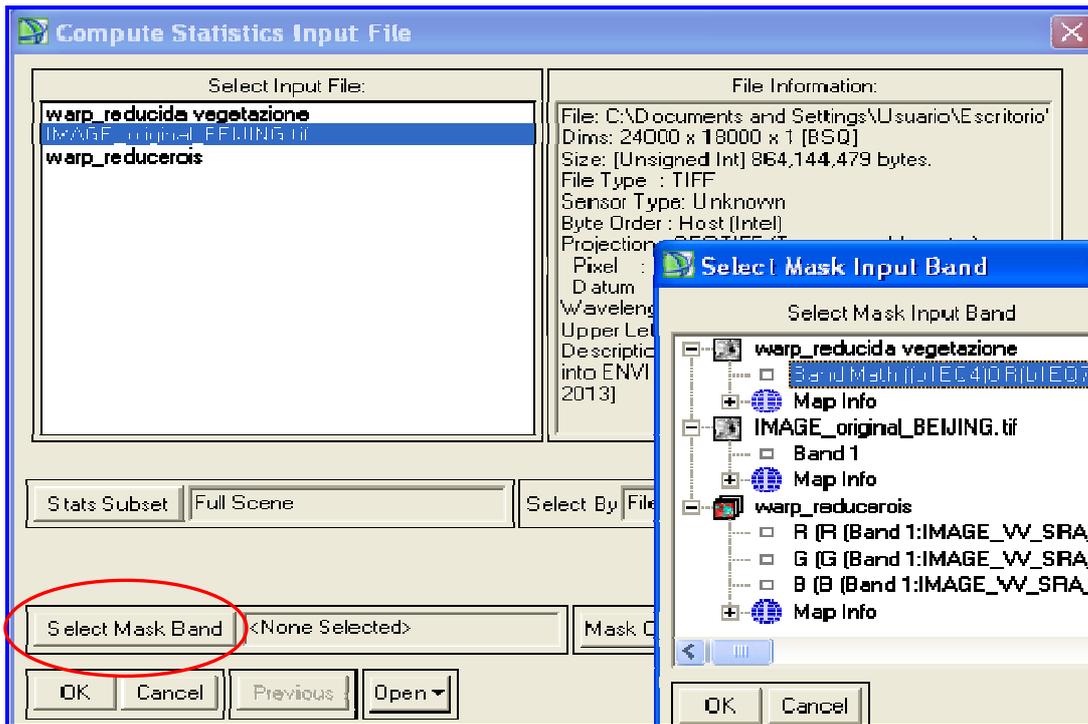


Figura 43. Seleccionamos las máscaras para la imagen Original

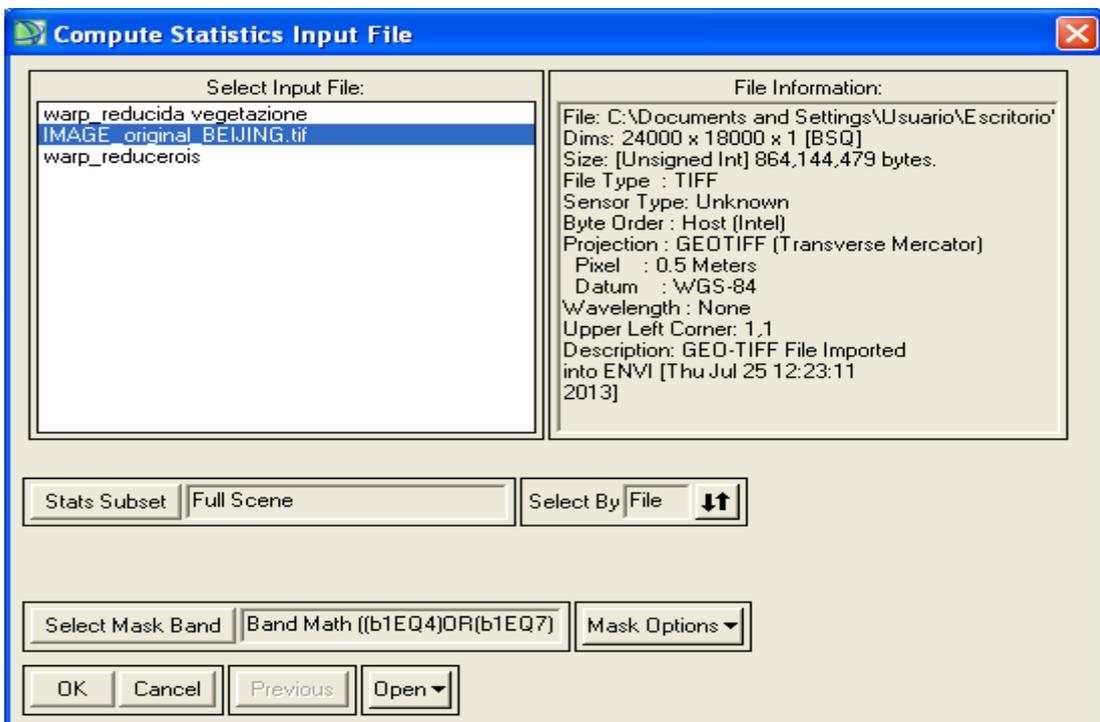


Figura 44. Compute Statistics Input File

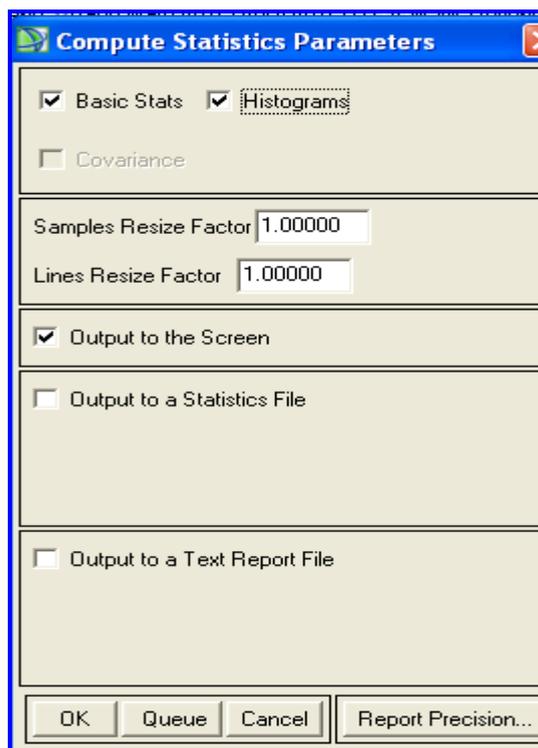


Figura 45. Compute Statistics Parameters

De esta forma se pueden obtener los parámetros estadísticos que darán lugar a los histogramas cuya información ayuda a realizar la clasificación de las diversas zonas en estudio.

Para la ROI Vegetación Pekín:

Filename: C:\Documents and Settings\Usuario\Escritorio\datos salvados\proyecto\IMAGE_original_BEIJING.tif
 Dims: Full Scene (432,000,000 points)

Basic Stats	Min	Max	Mean	Stdev
Band 1	0	32736	123.085703	238.480500

Histogram	DN	Npts	Total	Percent	Acc Pct
Band 1	0	43951137	43951137	72.7913	72.7913
Bin=129	129	11473986	55425123	19.0031	91.7944
	258	2558124	57983247	4.2367	96.0311
	387	955815	58939062	1.5830	97.6141
	516	476463	59415525	0.7891	98.4033
	645	275189	59690714	0.4558	98.8590
	774	173122	59863836	0.2867	99.1457
	903	115945	59979781	0.1920	99.3378
	1032	81212	60060993	0.1345	99.4723
	1161	59109	60120102	0.0979	99.5702
	1290	43841	60163943	0.0726	99.6428
	1419	34016	60197959	0.0563	99.6991
	1548	26606	60224565	0.0441	99.7432
	1677	21355	60245920	0.0354	99.7785
	1806	17250	60263170	0.0286	99.8071
	1935	14147	60277317	0.0234	99.8305
	2064	11911	60289228	0.0197	99.8503

ROI Vegetación Pekín

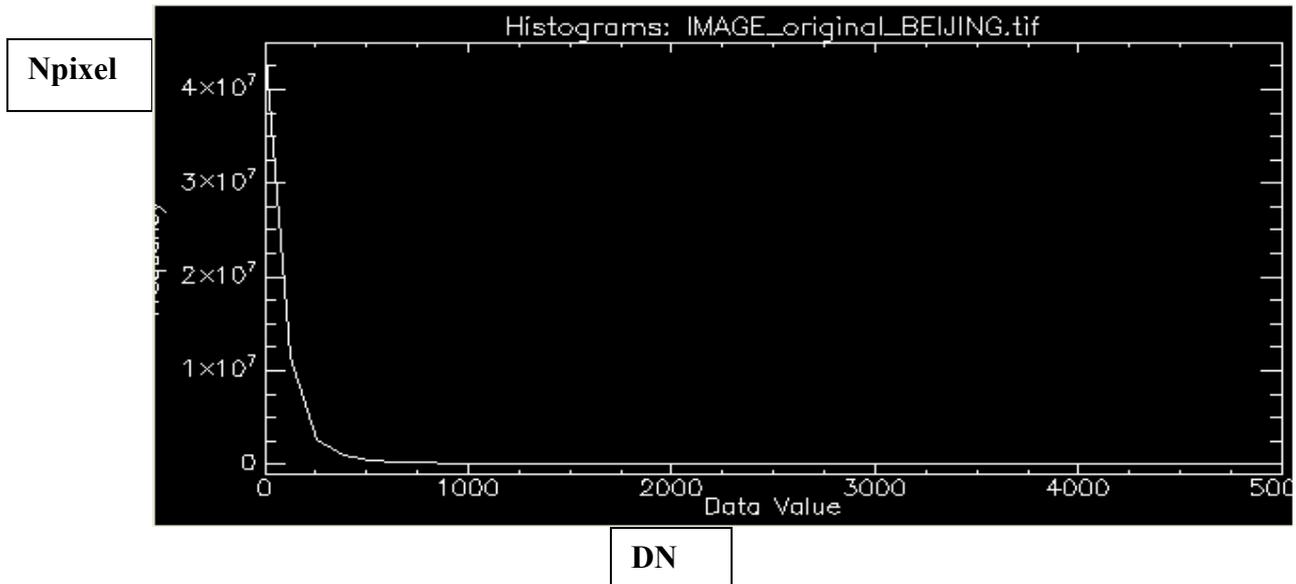


Figura 47. Histograma Vegetación Pekín

Cambiando la escala para verlo más en detalle:

ROI Vegetación Pekín

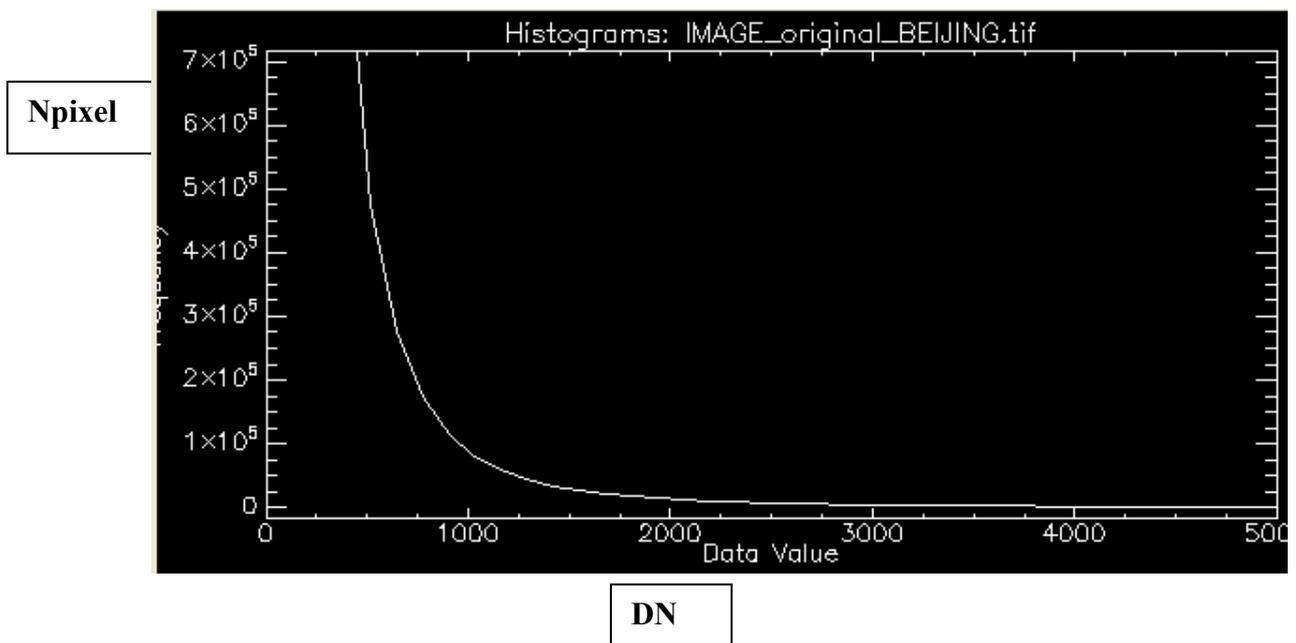


Figura 48. Histograma Vegetación Pekín (2)

El histograma nos representa la frecuencia con la que el valor del contenido de un determinado píxel de la imagen aparece para cada una de las zonas que queremos distinguir.

Histogramas:

ROI Medio-Baja Pekín

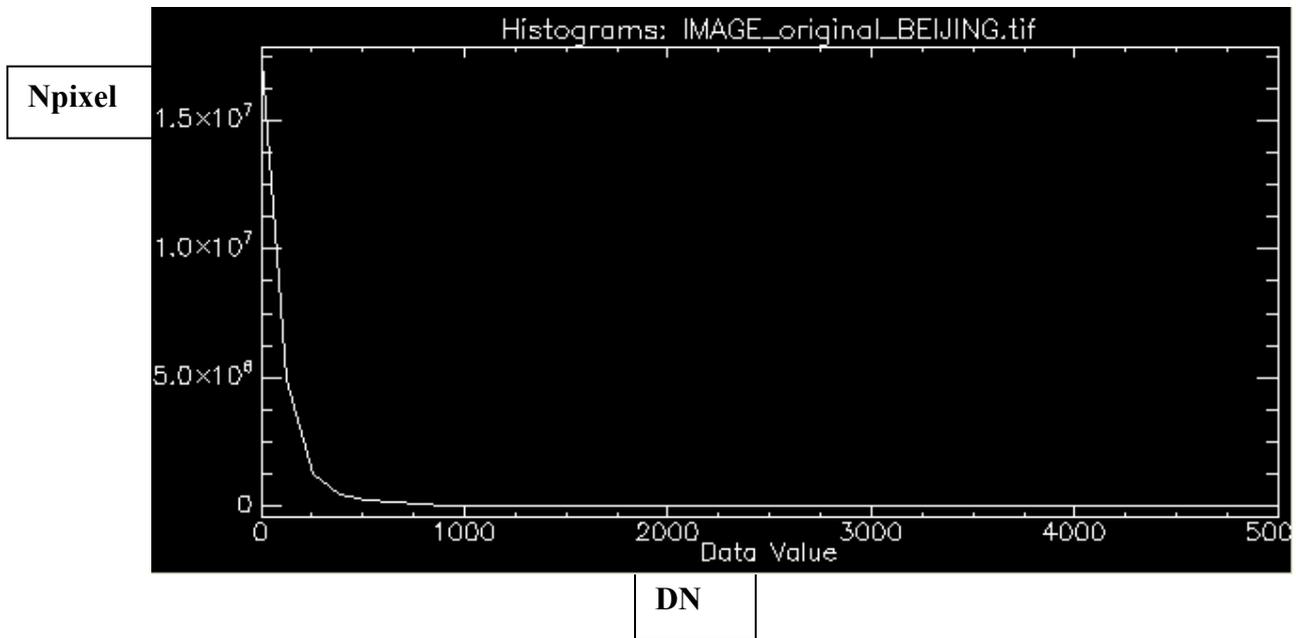


Figura 49. Histograma Medio-Baja Pekín

ROI Medio-Baja Pekín

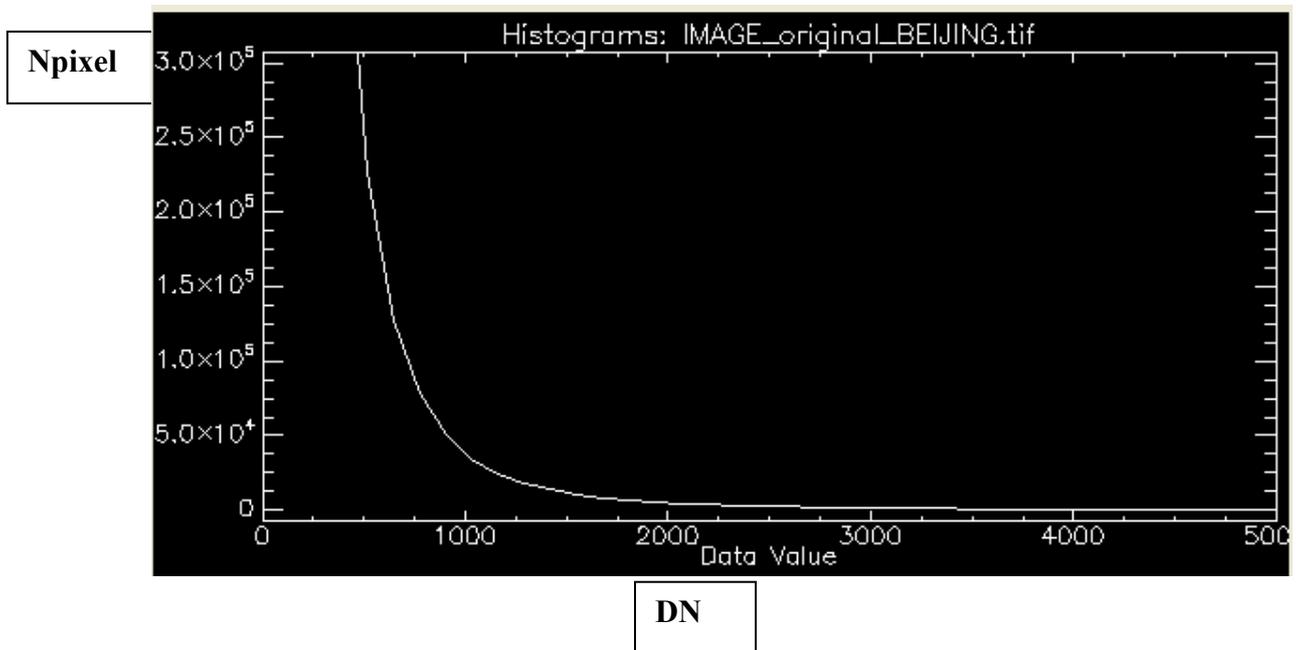


Figura 50. Histograma Medio-Baja Pekín (2)

Para ROI Rascacielos Pekín:

Filename: C:\Documents and Settings\Usuario\Escritorio\datos salvados\proyecto\IMAGE_original_BEIJING.tif
 Dims: Full Scene (432,000,000 points)

Basic Stats Min Max Mean Stdev
 Band 1 0 32767 143.400716 271.583788

Histogram DN Npts Total Percent Acc Pct

Band 1	DN	Npts	Total	Percent	Acc Pct
Band 1	0	21974470	21974470	68.6513	68.6513
Bin=129	129	6346562	28321032	19.8275	88.4788
	258	1743273	30064305	5.4462	93.9251
	387	742677	30806982	2.3202	96.2453
	516	391538	31198520	1.2232	97.4685
	645	230999	31429519	0.7217	98.1902
	774	147060	31576579	0.4594	98.6496
	903	98901	31675480	0.3090	98.9586
	1032	69492	31744972	0.2171	99.1757
	1161	50536	31795508	0.1579	99.3336
	1290	37926	31833434	0.1185	99.4521
	1419	28609	31862043	0.0894	99.5414
	1548	22675	31884718	0.0708	99.6123
	1677	18188	31902906	0.0568	99.6691
	1806	14781	31917687	0.0462	99.7153
	1935	12018	31929705	0.0375	99.7528
	2064	9929	31939634	0.0310	99.7838
	2193	8302	31947936	0.0259	99.8098
	2322	7038	31954974	0.0220	99.8318
	2451	6032	31961006	0.0188	99.8506
	2580	5091	31966097	0.0159	99.8665
	2709	4347	31970444	0.0136	99.8801
	2838	3822	31974266	0.0119	99.8920
	2967	3338	31977604	0.0104	99.9025
	3096	2852	31980456	0.0089	99.9114
	3225	2566	31983022	0.0080	99.9194
	3354	2259	31985281	0.0071	99.9264
	3483	2038	31987319	0.0064	99.9328
	3612	1707	31989026	0.0053	99.9381
	3741	1581	31990607	0.0049	99.9431
	3870	1419	31992026	0.0044	99.9475
	3999	1232	31993258	0.0038	99.9514
	4128	1152	31994410	0.0036	99.9550
	4257	1019	31995429	0.0032	99.9581
	4386	901	31996330	0.0028	99.9610
	4515	799	31997129	0.0025	99.9635
		.			
		.			
		.			
	31734	4	32008787	0.0000	99.9999
	31863	5	32008792	0.0000	99.9999
	31992	2	32008794	0.0000	99.9999
	32121	4	32008798	0.0000	99.9999
	32250	8	32008806	0.0000	99.9999
	32379	2	32008808	0.0000	99.9999
	32508	7	32008815	0.0000	100.0000
	32637	8	32008823	0.0000	100.0000
	32766	2	32008825	0.0000	100.0000

Tabla 5. Parámetros estadísticos ROI Rascacielos Pekín

Histogramas:

ROI Rascacielos Pekín

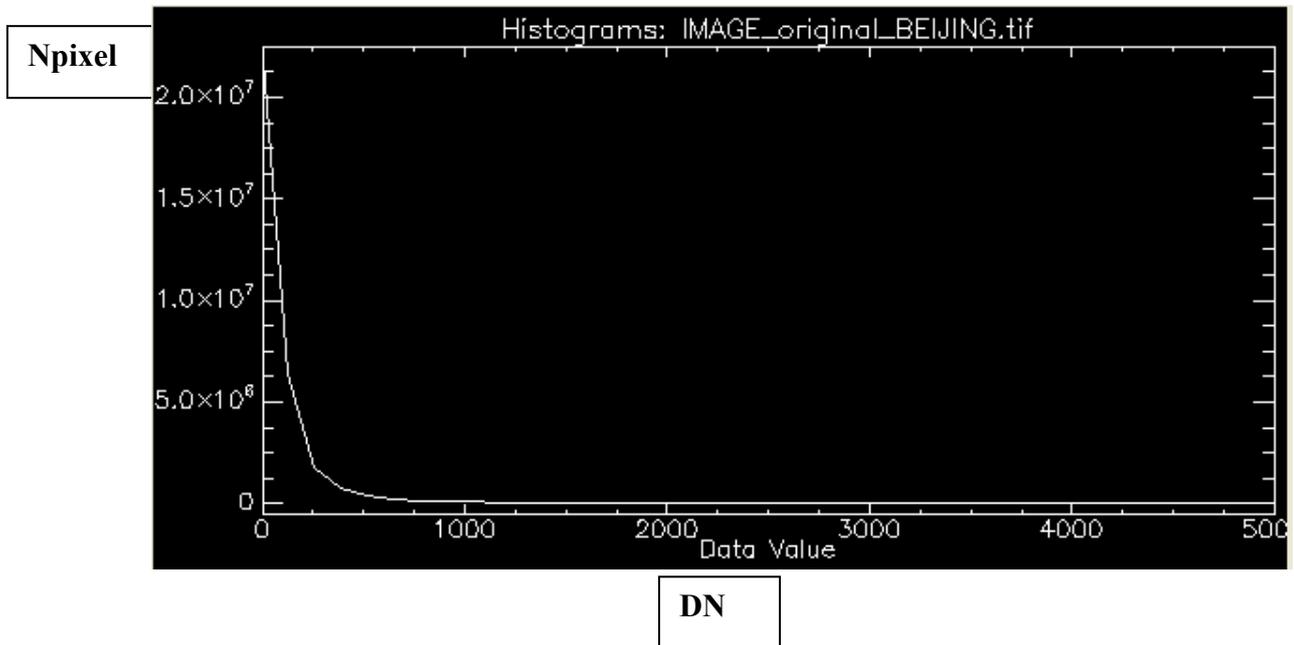


Figura 51. Histograma Rascacielos Pekín

ROI Rascacielos Pekín

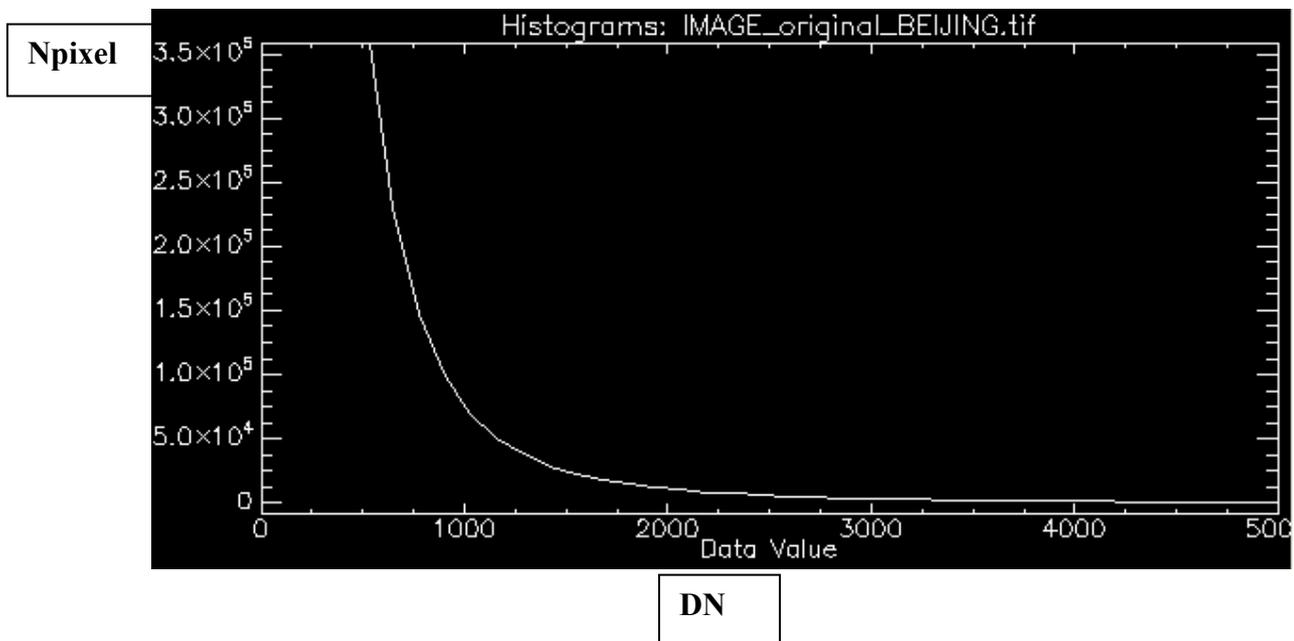


Figura 52. Histograma Rascacielos Pekín (2)

Para ROI Medio-Alta Pekín:

Filename: C:\Documents and Settings\Usuario\Escritorio\datos salvados\proyecto\IMAGE_original_BEIJING.tif
 Dims: Full Scene (432,000,000 points)

Basic Stats Min Max Mean Stdev
 Band 1 0 32754 138.052938 279.204693

Histogram DN	Npts	Total	Percent	Acc Pct
Band 1	0	43011430	69.5441	69.5441
Bin=129	129	12292490	55303920	19.8754 89.4196
258	3218271	58522191	5.2035	94.6231
387	1295115	59817306	2.0940	96.7171
516	664023	60481329	1.0736	97.7908
645	389063	60870392	0.6291	98.4199
774	244590	61114982	0.3955	98.8153
903	164783	61279765	0.2664	99.0818
1032	116096	61395861	0.1877	99.2695
1161	84944	61480805	0.1373	99.4068
1290	63295	61544100	0.1023	99.5092
1419	47894	61591994	0.0774	99.5866
1548	38059	61630053	0.0615	99.6481
1677	30200	61660253	0.0488	99.6970
1806	24468	61684721	0.0396	99.7365
1935	20095	61704816	0.0325	99.7690
2064	16740	61721556	0.0271	99.7961
2193	14207	61735763	0.0230	99.8190
2322	11886	61747649	0.0192	99.8383
2451	10058	61757707	0.0163	99.8545
2580	8503	61766210	0.0137	99.8683
2709	7494	61773704	0.0121	99.8804
2838	6662	61780366	0.0108	99.8912
2967	5631	61785997	0.0091	99.9003
3096	5079	61791076	0.0082	99.9085
3225	4461	61795537	0.0072	99.9157
3354	3975	61799512	0.0064	99.9221
3483	3577	61803089	0.0058	99.9279
3612	3240	61806329	0.0052	99.9331
3741	2804	61809133	0.0045	99.9377
3870	2556	61811689	0.0041	99.9418
3999	2379	61814068	0.0038	99.9457
4128	2165	61816233	0.0035	99.9492
4257	2029	61818262	0.0033	99.9524
4386	1840	61820102	0.0030	99.9554
4515	1590	61821692	0.0026	99.9580
4644	1558	61823250	0.0025	99.9605
4773	1322	61824572	0.0021	99.9626
4902	1289	61825861	0.0021	99.9647
	.			
	.			
	.			
31089	8	61847606	0.0000	99.9999
31218	7	61847613	0.0000	99.9999
31347	6	61847619	0.0000	99.9999
31476	5	61847624	0.0000	99.9999
31605	4	61847628	0.0000	99.9999
31734	6	61847634	0.0000	99.9999
31863	10	61847644	0.0000	99.9999
31992	8	61847652	0.0000	100.0000
32121	5	61847657	0.0000	100.0000
32250	4	61847661	0.0000	100.0000
32379	7	61847668	0.0000	100.0000
32508	6	61847674	0.0000	100.0000
32637	3	61847677	0.0000	100.0000

Tabla 6. Parámetros estadísticos ROI Medio-Alta Pekín

Histogramas:

ROI Medio-Alta Pekín

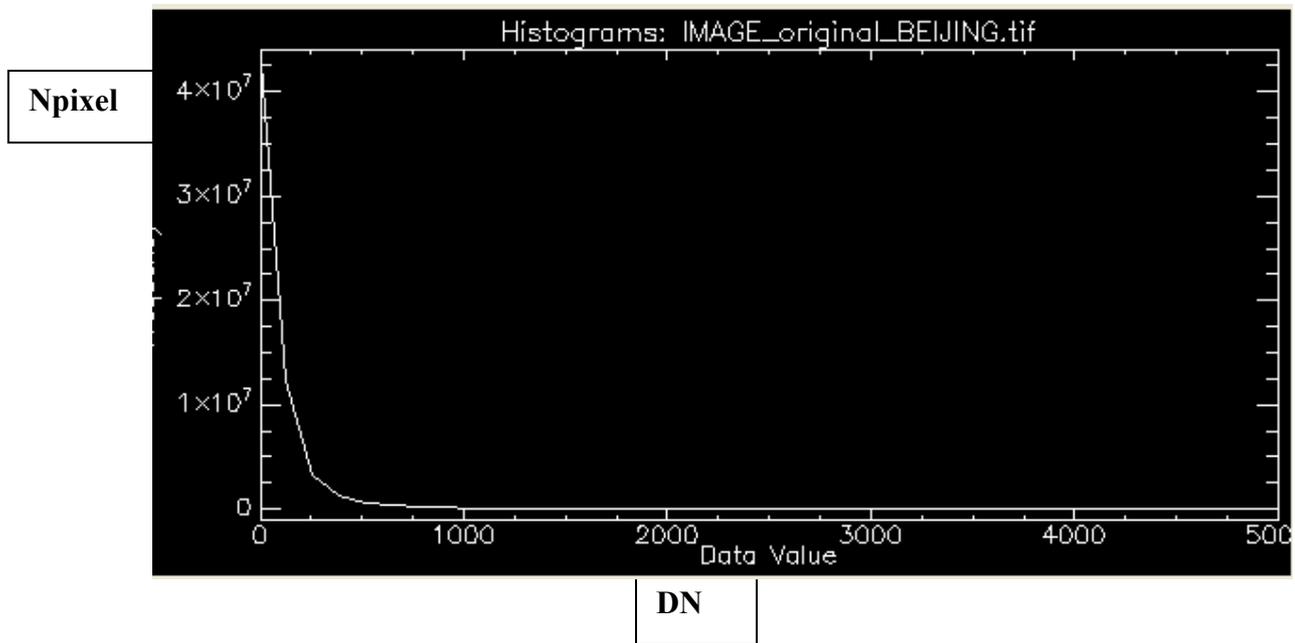


Figura 53. Histograma Medio-Alta Pekín

ROI Medio-Alta Pekín

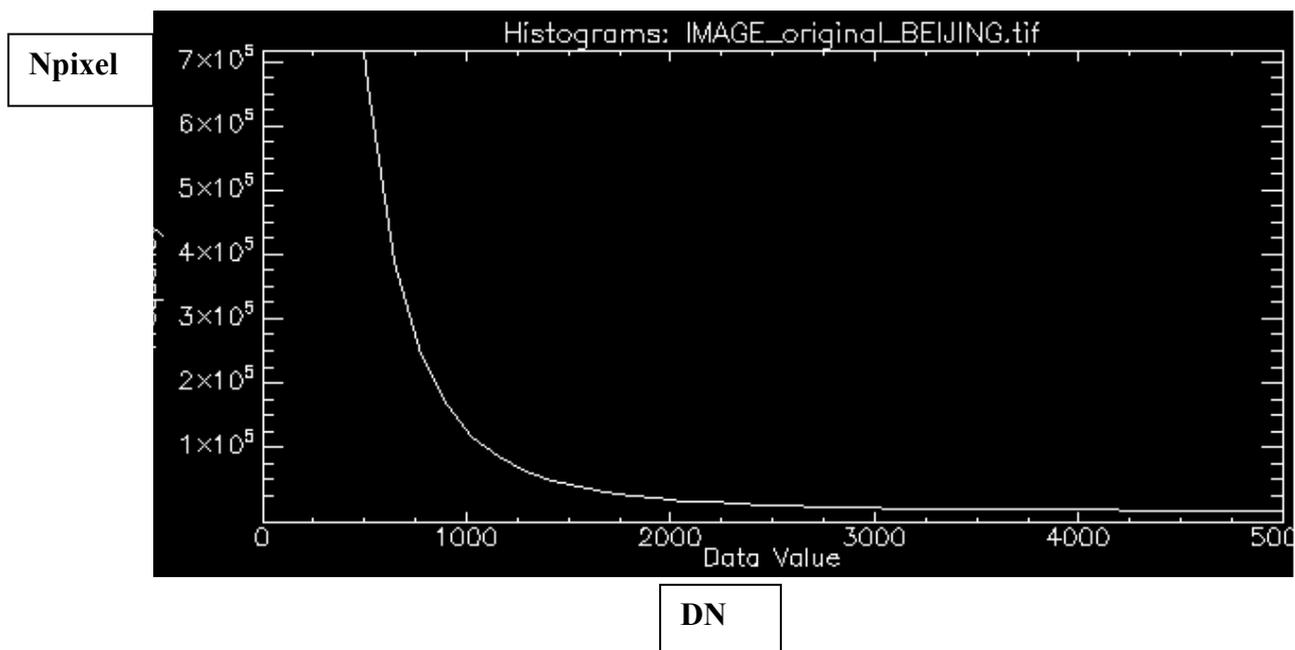


Figura 54. Histograma Medio-Alta Pekín (2)

Para el caso de Shangai:

Para ROI Media Shangai:

Filename: C:\Documents and Settings\Usuario\Escritorio\datos salvados\proyecto\IMAGE_HH_SRA_spot_061.tif
 Dims: Full Scene (340,000,000 points)

Basic Stats Min Max Mean Stdev
 Band 1 0 32750 173.765804 369.630797

HistogramDN	Npts	Total	Percent	Acc Pct
Band 1	0	16371935	62.5607	62.5607
Bin=129	129	5780233	22.0875	84.6482
258	1874361	24026529	7.1623	91.8105
387	821114	24847643	3.1377	94.9482
516	428487	25276130	1.6373	96.5855
645	249965	25526095	0.9552	97.5407
774	158222	25684317	0.6046	98.1453
903	106832	25791149	0.4082	98.5535
1032	75129	25866278	0.2871	98.8406
1161	54791	25921069	0.2094	99.0500
1290	41066	25962135	0.1569	99.2069
1419	31761	25993896	0.1214	99.3283
1548	24860	26018756	0.0950	99.4233
1677	19660	26038416	0.0751	99.4984
1806	16003	26054419	0.0612	99.5595
1935	13269	26067688	0.0507	99.6102
2064	11012	26078700	0.0421	99.6523
2193	9119	26087819	0.0348	99.6872
2322	7849	26095668	0.0300	99.7172
2451	6812	26102480	0.0260	99.7432
2580	5866	26108346	0.0224	99.7656
2709	5173	26113519	0.0198	99.7854
2838	4485	26118004	0.0171	99.8025
2967	3960	26121964	0.0151	99.8176
3096	3537	26125501	0.0135	99.8312
3225	3163	26128664	0.0121	99.8432
3354	2788	26131452	0.0107	99.8539
3483	2393	26133845	0.0091	99.8630
3612	2356	26136201	0.0090	99.8720
3741	2114	26138315	0.0081	99.8801
3870	1964	26140279	0.0075	99.8876
3999	1683	26141962	0.0064	99.8941
4128	1618	26143580	0.0062	99.9002
4257	1423	26145003	0.0054	99.9057
4386	1325	26146328	0.0051	99.9107
4515	1260	26147588	0.0048	99.9156
4644	1140	26148728	0.0044	99.9199
4773	1002	26149730	0.0038	99.9237
4902	954	26150684	0.0036	99.9274
5031	914	26151598	0.0035	99.9309
5160	891	26152489	0.0034	99.9343
	.			
	.			
	.			
31734	5	26169634	0.0000	99.9998
31863	8	26169642	0.0000	99.9998
31992	7	26169649	0.0000	99.9999
32121	9	26169658	0.0000	99.9999
32250	5	26169663	0.0000	99.9999
32379	6	26169669	0.0000	99.9999
32508	4	26169673	0.0000	100.0000
32637	13	26169686	0.0000	100.0000

Tabla 7. Parámetros estadísticos ROI Media Shangai

Histogramas:

ROI Media Shangai

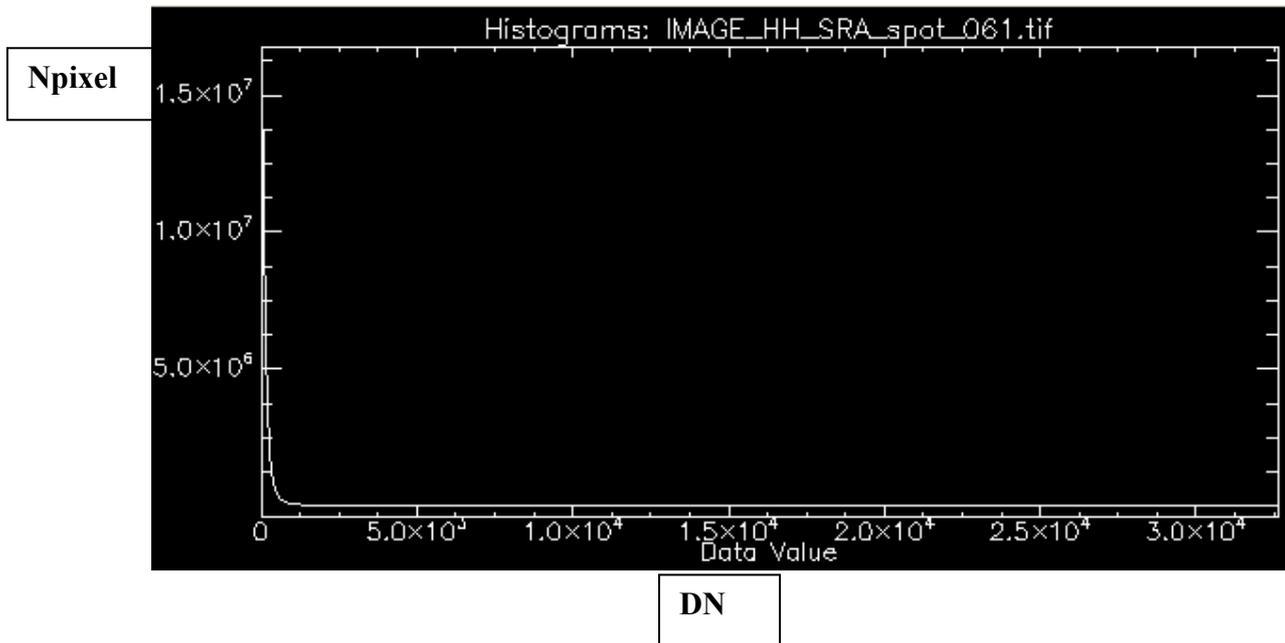


Figura 55. Histograma Media Shangai

ROI Media Shangai

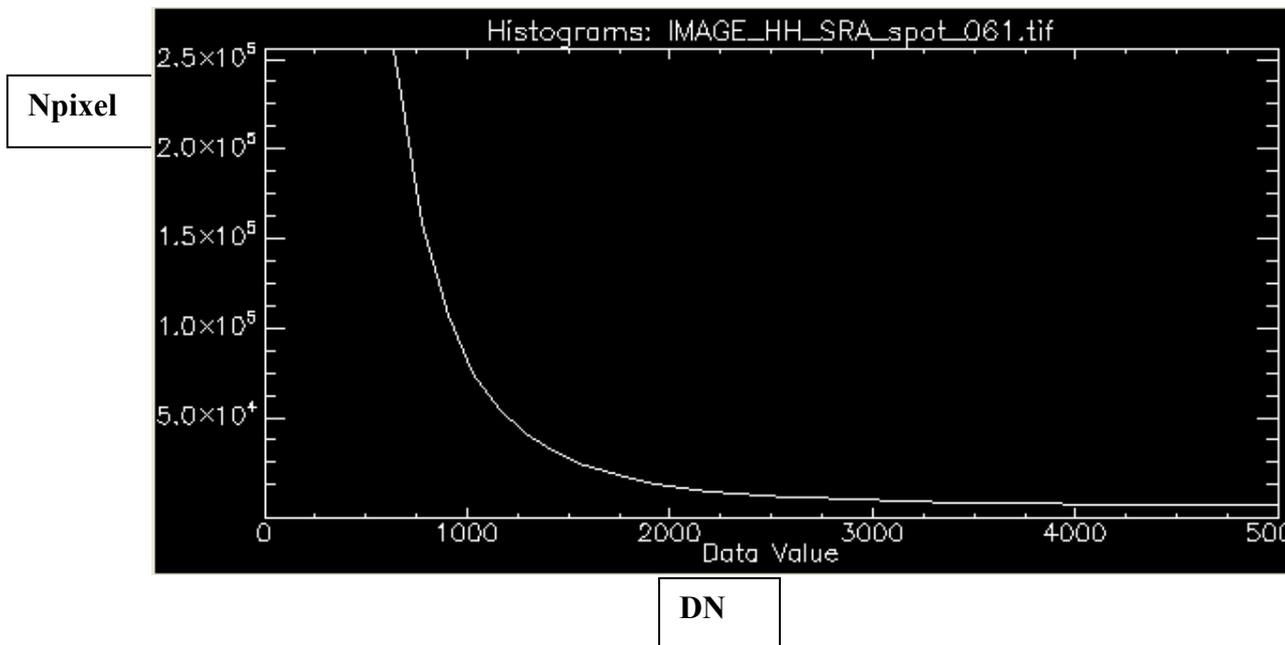


Figura 56. Histograma Media Shangai (2)

Para ROI Rascacielos Shangai:

Filename: C:\Documents and Settings\Usuario\Escritorio\datos salvados\proyecto\IMAGE_HH_SRA_spot_061.tif
 Dims: Full Scene (340,000,000 points)

Basic Stats Min Max Mean Stdev
 Band 1 0 32766 271.301989 689.946557

Histogram DN	Npts	Total	Percent	Acc Pct
Band 1	0	2113004	52.5504	52.5504
Bin=129	129	976448	3089452	24.2843 76.8347
258	342745	3432197	8.5241	85.3588
387	173446	3605643	4.3136	89.6724
516	103976	3709619	2.5859	92.2582
645	67476	3777095	1.6781	93.9364
774	46987	3824082	1.1686	95.1049
903	34213	3858295	0.8509	95.9558
1032	26448	3884743	0.6578	96.6136
1161	20045	3904788	0.4985	97.1121
1290	15934	3920722	0.3963	97.5084
1419	12540	3933262	0.3119	97.8202
1548	10290	3943552	0.2559	98.0762
1677	8183	3951735	0.2035	98.2797
1806	7239	3958974	0.1800	98.4597
1935	5943	3964917	0.1478	98.6075
2064	5095	3970012	0.1267	98.7342
2193	4475	3974487	0.1113	98.8455
2322	3764	3978251	0.0936	98.9391
2451	3335	3981586	0.0829	99.0221
2580	2881	3984467	0.0717	99.0937
2709	2668	3987135	0.0664	99.1601
2838	2327	3989462	0.0579	99.2179
2967	1989	3991451	0.0495	99.2674
3096	1860	3993311	0.0463	99.3137
3225	1711	3995022	0.0426	99.3562
3354	1593	3996615	0.0396	99.3958
3483	1385	3998000	0.0344	99.4303
3612	1402	3999402	0.0349	99.4651
3741	1184	4000586	0.0294	99.4946
3870	1114	4001700	0.0277	99.5223
3999	1015	4002715	0.0252	99.5475
4128	948	4003663	0.0236	99.5711
4257	869	4004532	0.0216	99.5927
4386	805	4005337	0.0200	99.6127
4515	753	4006090	0.0187	99.6315
	.			
	.			
	.			
30960	5	4020858	0.0001	99.9988
31089	5	4020863	0.0001	99.9989
31218	3	4020866	0.0001	99.9990
31347	4	4020870	0.0001	99.9991
31476	3	4020873	0.0001	99.9991
31605	1	4020874	0.0000	99.9992
31734	5	4020879	0.0001	99.9993
31863	3	4020882	0.0001	99.9994
31992	7	4020889	0.0002	99.9995
32121	4	4020893	0.0001	99.9996
32250	6	4020899	0.0001	99.9998
32379	4	4020903	0.0001	99.9999
32508	2	4020905	0.0000	99.9999
32637	2	4020907	0.0000	100.0000
32766	1	4020908	0.0000	100.0000

Tabla 8. Parámetros estadísticos ROI Rascacielos Shangai

Histogramas:

ROI Rascacielos Shangai

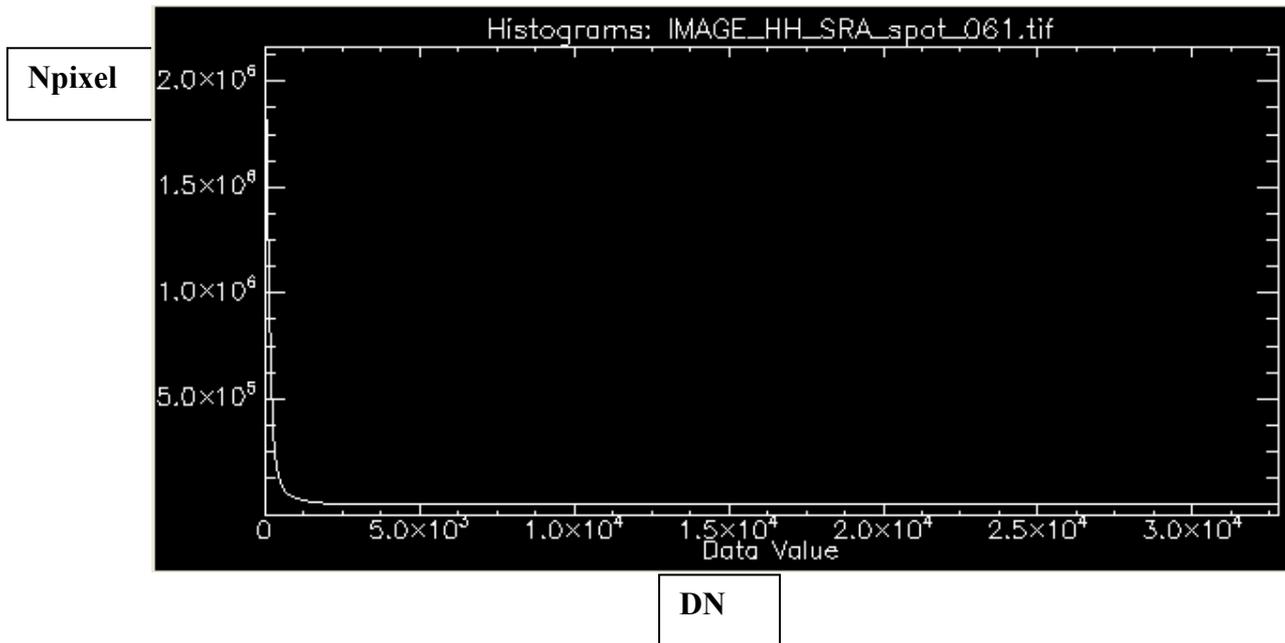


Figura 57. Histograma Rascacielos Shangai

ROI Rascacielos Shangai

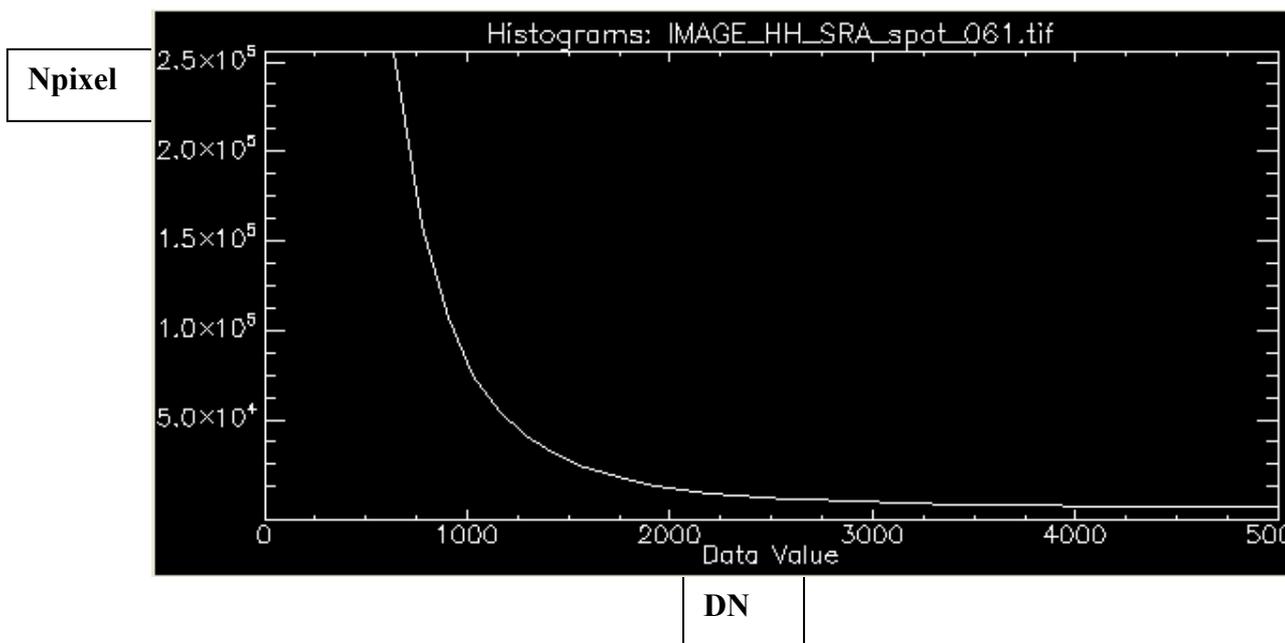


Figura 58. Histograma Rascacielos Shangai

Para ROI Baja Shangai:

Filename: C:\Documents and Settings\Usuario\Escritorio\datos salvados\proyecto\IMAGE_HH_SRA_spot_061.tif
 Dims: Full Scene (340,000,000 points)

Basic Stats Min Max Mean Stdev
 Band 1 0 32765 176.297054 348.732623

Histogram DN Npts Total Percent Acc Pct
 Band 1 0 30361872 30361872 60.7360 60.7360
 Bin=129 129 11843194 42205066 23.6912 84.4272

258	3705880	45910946	7.4133	91.8405
387	1582477	47493423	3.1656	95.0061
516	814289	48307712	1.6289	96.6350
645	474136	48781848	0.9485	97.5834
774	300896	49082744	0.6019	98.1854
903	202397	49285141	0.4049	98.5902
1032	142642	49427783	0.2853	98.8756
1161	103639	49531422	0.2073	99.0829
1290	78144	49609566	0.1563	99.2392
1419	59918	49669484	0.1199	99.3591
1548	47208	49716692	0.0944	99.4535
1677	37582	49754274	0.0752	99.5287
1806	30694	49784968	0.0614	99.5901
1935	25052	49810020	0.0501	99.6402
2064	20633	49830653	0.0413	99.6815
2193	17390	49848043	0.0348	99.7163
2322	14745	49862788	0.0295	99.7458
2451	12682	49875470	0.0254	99.7711
2580	10807	49886277	0.0216	99.7927
2709	9426	49895703	0.0189	99.8116
2838	8158	49903861	0.0163	99.8279
2967	7145	49911006	0.0143	99.8422
3096	6243	49917249	0.0125	99.8547
3225	5559	49922808	0.0111	99.8658
3354	4863	49927671	0.0097	99.8756
3483	4450	49932121	0.0089	99.8845
3612	4029	49936150	0.0081	99.8925
3741	3576	49939726	0.0072	99.8997
3870	3289	49943015	0.0066	99.9062
3999	2957	49945972	0.0059	99.9122
4128	2729	49948701	0.0055	99.9176
4257	2512	49951213	0.0050	99.9226
4386	2139	49953352	0.0043	99.9269
4515	2006	49955358	0.0040	99.9309
4644	1966	49957324	0.0039	99.9349

·
·
·

31218	10	49989733	0.0000	99.9997
31347	3	49989736	0.0000	99.9997
31476	13	49989749	0.0000	99.9997
31605	5	49989754	0.0000	99.9997
31734	9	49989763	0.0000	99.9998
31863	19	49989782	0.0000	99.9998
31992	15	49989797	0.0000	99.9998
32121	16	49989813	0.0000	99.9999
32250	18	49989831	0.0000	99.9999
32379	10	49989841	0.0000	99.9999
32508	13	49989854	0.0000	99.9999
32637	29	49989883	0.0001	100.0000

Tabla 9. Parámetros estadísticos ROI Baja Shangai

Histogramas:

ROI Baja Shangai

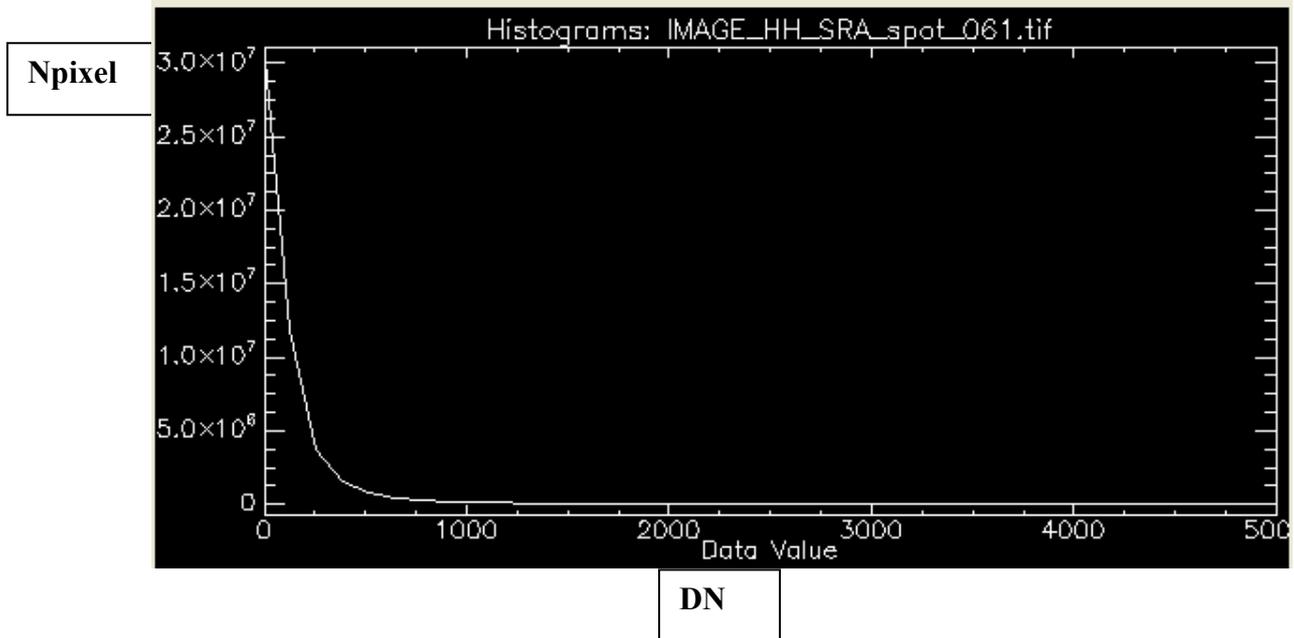


Figura 59. Histograma ROI Baja Shangai

ROI Baja Shangai

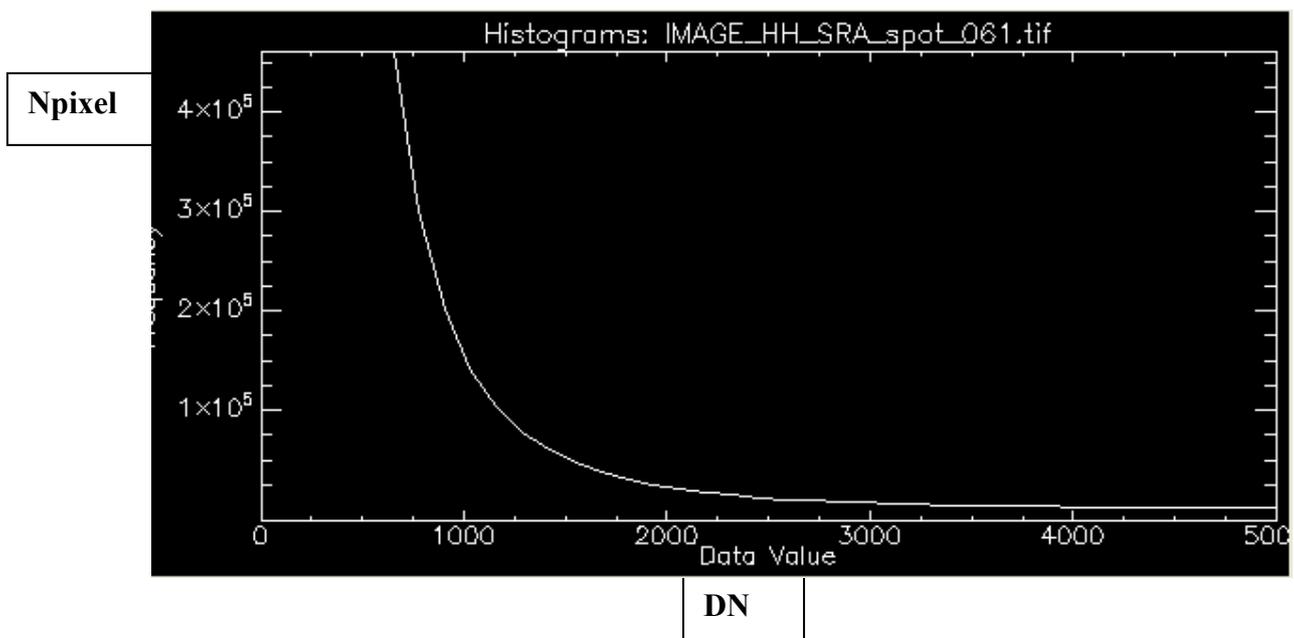


Figura 60. Histograma ROI Baja Shangai (2)

Para ROI Agua Shangai:

Filename: C:\Documents and Settings\Usuario\Escritorio\datos salvados\proyecto\IMAGE_HH_SRA_spot_061.tif
 Dims: Full Scene (340,000,000 points)

Basic Stats Min Max Mean Stdev
 Band 1 0 32512 90.617070 202.612921

Histogram DN Npts Total Percent Acc Pct
 Band 1 0 13109516 13109516 87.9694 87.9694
 Bin=128 128 1272563 14382079 8.5393 96.5088

256	232503	14614582	1.5602	98.0689
384	96865	14711447	0.6500	98.7189
512	53182	14764629	0.3569	99.0758
640	33144	14797773	0.2224	99.2982
768	22637	14820410	0.1519	99.4501
896	15986	14836396	0.1073	99.5574
1024	12002	14848398	0.0805	99.6379
1152	9229	14857627	0.0619	99.6998
1280	7182	14864809	0.0482	99.7480
1408	5517	14870326	0.0370	99.7851
1536	4413	14874739	0.0296	99.8147
1664	3642	14878381	0.0244	99.8391
1792	2989	14881370	0.0201	99.8592
1920	2372	14883742	0.0159	99.8751
2048	2046	14885788	0.0137	99.8888
2176	1734	14887522	0.0116	99.9005
2304	1434	14888956	0.0096	99.9101
2432	1249	14890205	0.0084	99.9185
2560	1106	14891311	0.0074	99.9259
2688	1001	14892312	0.0067	99.9326
2816	806	14893118	0.0054	99.9380
2944	734	14893852	0.0049	99.9429
3072	681	14894533	0.0046	99.9475
3200	542	14895075	0.0036	99.9511
3328	539	14895614	0.0036	99.9548
3456	475	14896089	0.0032	99.9579
3584	426	14896515	0.0029	99.9608
3712	389	14896904	0.0026	99.9634
3840	351	14897255	0.0024	99.9658
3968	319	14897574	0.0021	99.9679
4096	296	14897870	0.0020	99.9699
4224	259	14898129	0.0017	99.9716

.
.
.

30720	1	14902348	0.0000	99.9999
30848	2	14902350	0.0000	100.0000
30976	0	14902350	0.0000	100.0000
31104	0	14902350	0.0000	100.0000
31232	1	14902351	0.0000	100.0000
31360	1	14902352	0.0000	100.0000
31488	0	14902352	0.0000	100.0000
31616	0	14902352	0.0000	100.0000
31744	2	14902354	0.0000	100.0000
31872	1	14902355	0.0000	100.0000
32000	0	14902355	0.0000	100.0000
32128	1	14902356	0.0000	100.0000
32256	0	14902356	0.0000	100.0000
32384	0	14902356	0.0000	100.0000
32512	1	14902357	0.0000	100.0000

Tabla 10. Parámetros estadísticos ROI Agua Shangai

Histogramas:

ROI Agua Shangai

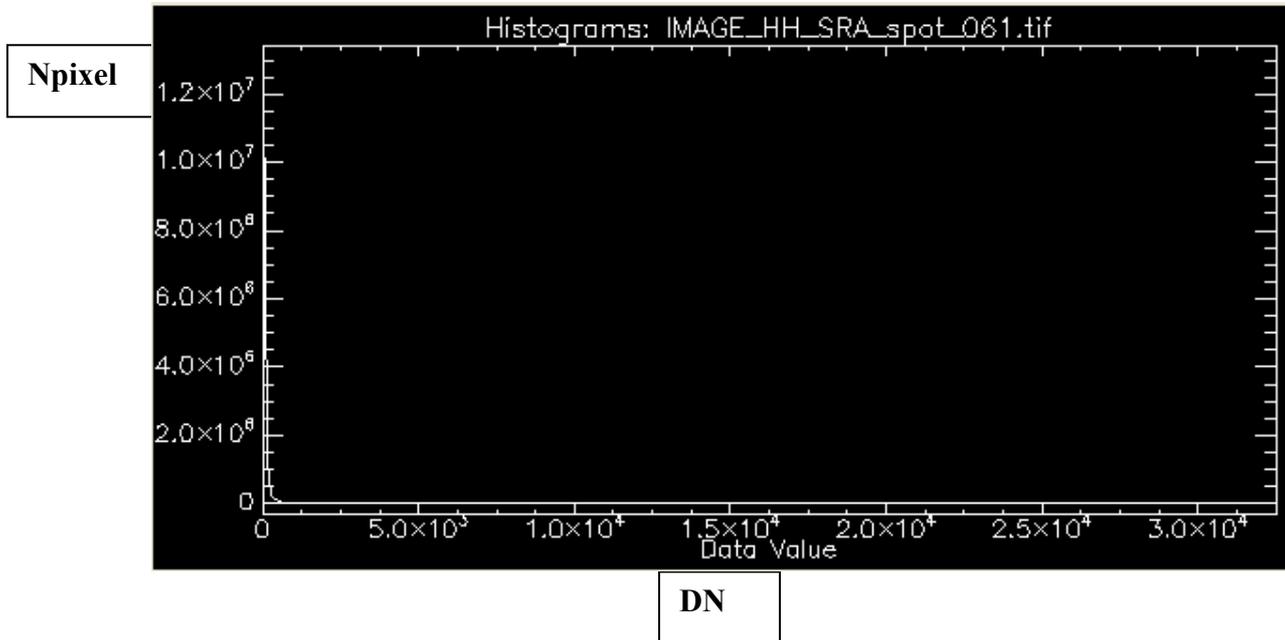


Figura 61. Histograma ROI Agua Shangai

ROI Agua Shangai

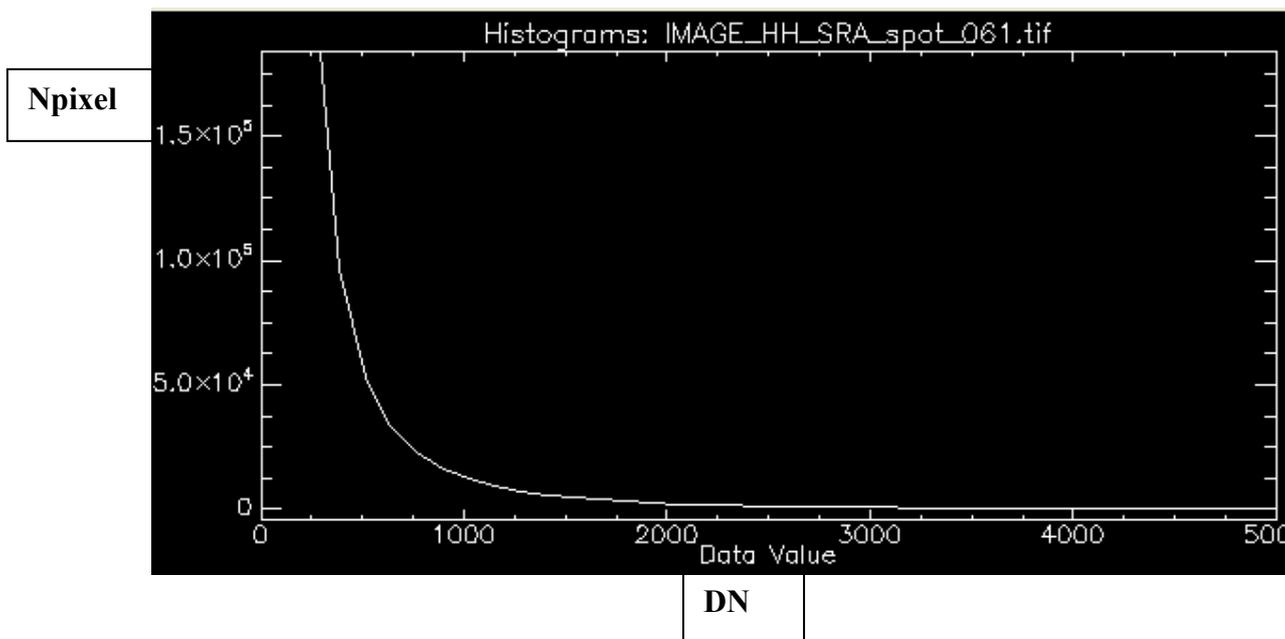


Figura 62. Histograma ROI Agua Shangai (2)

Para ROI Alta Shangai:

Filename: C:\Documents and Settings\Usuario\Escritorio\datos salvados\proyecto\IMAGE_HH_SRA_spot_061.tif
 Dims: Full Scene (340,000,000 points)

Basic Stats Min Max Mean Stdev
 Band 1 0 32765 206.863076 479.286978

Histogram	DN	Npts	Total	Percent	Acc Pct
Band 1	0	29108507	29108507	58.5020	58.5020
Bin=129	129	11615282	40723789	23.3443	81.8463
258	3827862	44551651	7.6932	89.5395	
387	1779805	46331456	3.5770	93.1165	
516	987220	47318676	1.9841	95.1006	
645	609760	47928436	1.2255	96.3261	
774	404536	48332972	0.8130	97.1391	
903	282557	48615529	0.5679	97.7070	
1032	204912	48820441	0.4118	98.1188	
1161	153915	48974356	0.3093	98.4282	
1290	118814	49093170	0.2388	98.6670	
1419	93761	49186931	0.1884	98.8554	
1548	74556	49261487	0.1498	99.0052	
1677	60479	49321966	0.1216	99.1268	
1806	50105	49372071	0.1007	99.2275	
1935	41643	49413714	0.0837	99.3112	
2064	35482	49449196	0.0713	99.3825	
2193	29809	49479005	0.0599	99.4424	
2322	25934	49504939	0.0521	99.4945	
2451	22637	49527576	0.0455	99.5400	
2580	19252	49546828	0.0387	99.5787	
2709	17183	49564011	0.0345	99.6132	
2838	14846	49578857	0.0298	99.6431	
2967	13271	49592128	0.0267	99.6698	
3096	11816	49603944	0.0237	99.6935	
3225	10581	49614525	0.0213	99.7148	
3354	9598	49624123	0.0193	99.7341	
3483	8639	49632762	0.0174	99.7514	
3612	7766	49640528	0.0156	99.7670	
3741	7134	49647662	0.0143	99.7814	
3870	6443	49654105	0.0129	99.7943	
3999	5835	49659940	0.0117	99.8060	
4128	5555	49665495	0.0112	99.8172	
4257	5007	49670502	0.0101	99.8273	
4386	4553	49675055	0.0092	99.8364	
4515	4284	49679339	0.0086	99.8450	
4644	3979	49683318	0.0080	99.8530	
4773	3683	49687001	0.0074	99.8604	
4902	3396	49690397	0.0068	99.8673	
5031	3104	49693501	0.0062	99.8735	
5160	2881	49696382	0.0058	99.8793	
		.			
		.			
		.			
31476	23	49756218	0.0000	99.9995	
31605	14	49756232	0.0000	99.9996	
31734	25	49756257	0.0001	99.9996	
31863	27	49756284	0.0001	99.9997	
31992	13	49756297	0.0000	99.9997	
32121	31	49756328	0.0001	99.9998	
32250	27	49756355	0.0001	99.9998	
32379	34	49756389	0.0001	99.9999	
32508	24	49756413	0.0000	99.9999	
32637	34	49756447	0.0001	100.0000	

Tabla 11. Parámetros estadísticos ROI Alta Shangai

Histogramas:

ROI Alta Shangai

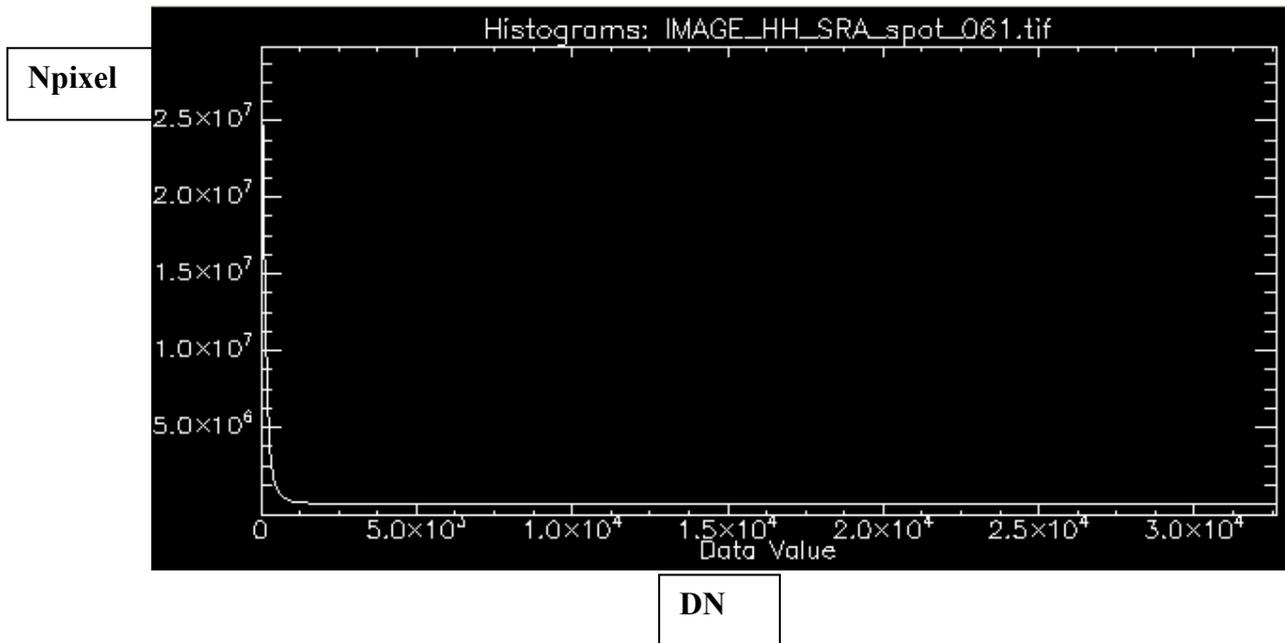


Figura 63. Histograma ROI Alta Shangai

ROI Alta Shangai

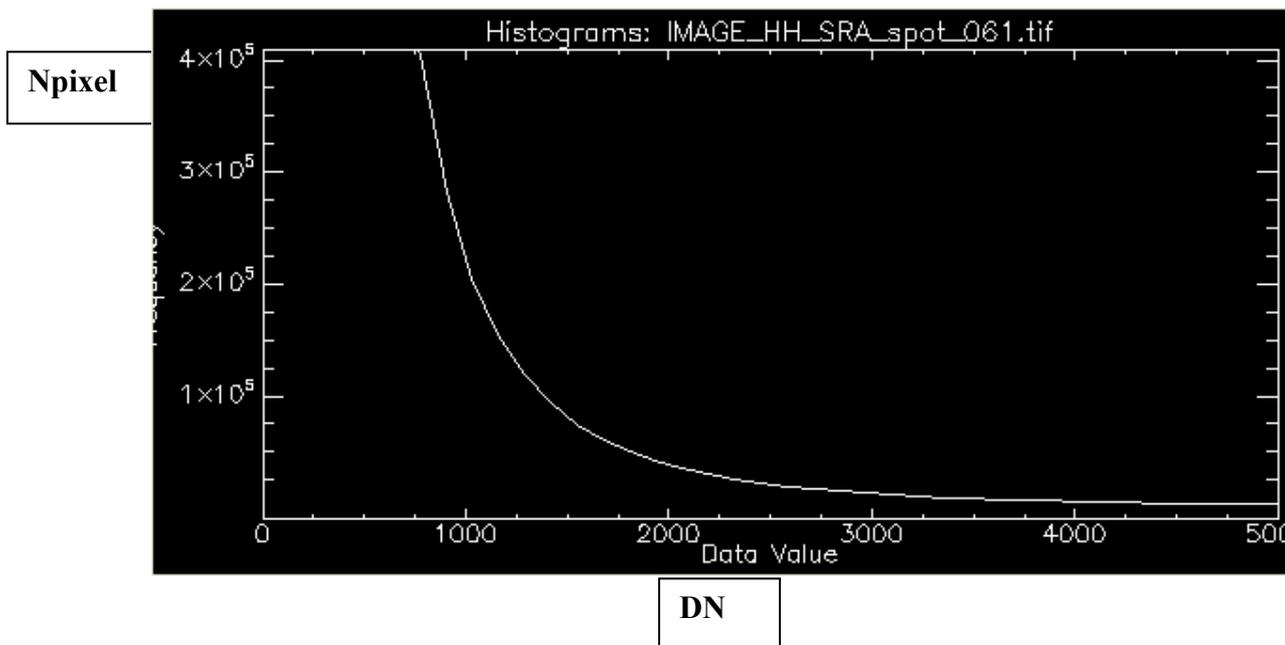


Figura 64. Histograma ROI Alta Shangai (2)

4.5.2 Cálculo de los histogramas usando IDL

Para calcular los Histogramas también se puede realizar la programación de las ROI utilizando el lenguaje IDL y obteniendo con ellos la frecuencia con la que aparece el valor de un determinado pixel en cada una de las imágenes.

Se va a hacer como ejemplo con la imagen de Pekín. Siendo análogo el procedimiento con la imagen de Shanghai.

Lo primero que hacemos es recortar la imagen original para que el programa vaya más rápido eliminando la información innecesaria.

Se hace una rotación de 10° en sentido antihorario. Seleccionamos del menú *Basic Tools* la opción *Rotate/Flip Data*. Una vez elegido el archivo sobre el cual efectuar la operación, es suficiente insertar el ángulo de inclinación (en grados DEG) y el nombre de la nueva imagen modificada.

También se eliminaron los bordes negros seleccionando *Resize Data* (del menú *Basic Tools*); seleccionando gráficamente la zona interesada, o bien insertando el intervalo de filas y columnas correspondientes.



Figura 65. Imagen radar Pekín rotada y recortada

También se deben recortar las imágenes correspondientes a cada una de las ROI. Haciéndolo del siguiente modo:

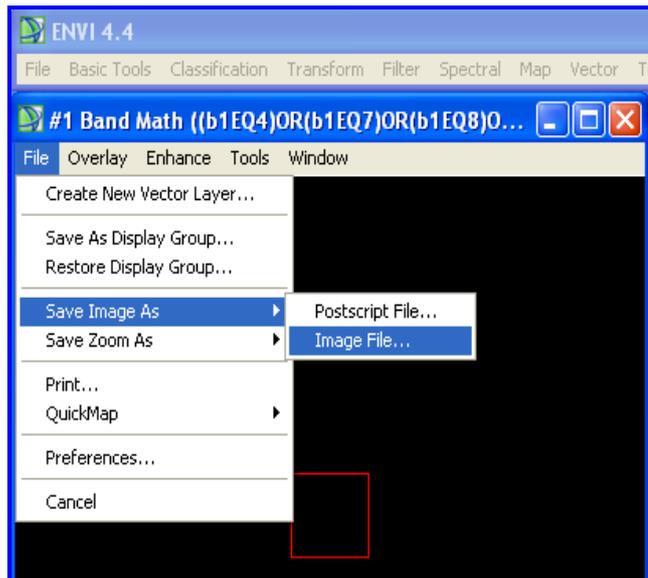


Figura 66. Para recortar cada una de las ROI

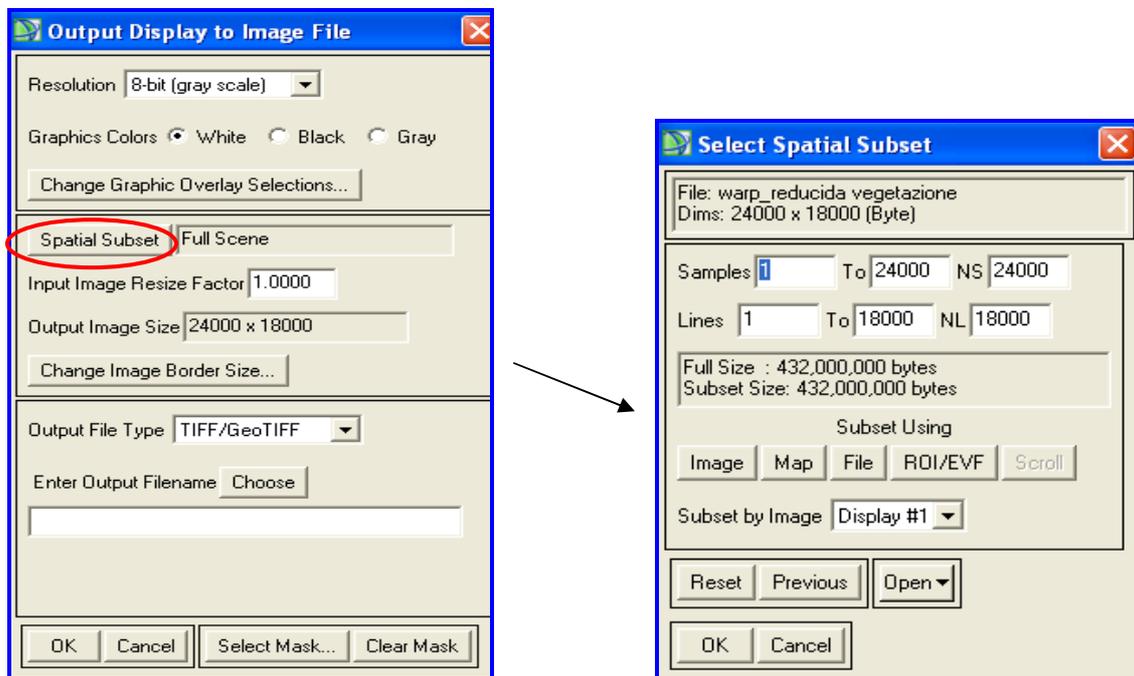


Figura 67. Para recortar cada una de las ROI (2)

Seleccionando “image” y cambiando el valor de Samples y Lines a 4000, tamaño (resolución) estandarizado.

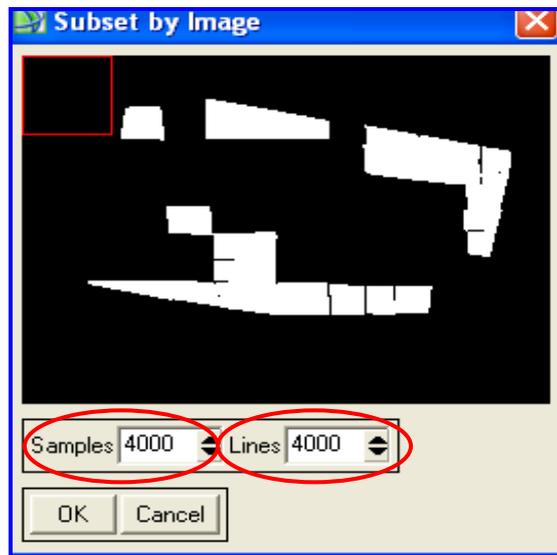


Figura 68. Para recortar cada una de las ROI. Cambiando Samples y Lines

Se encierra la imagen que quiere que quede dentro del cuadro rojo:

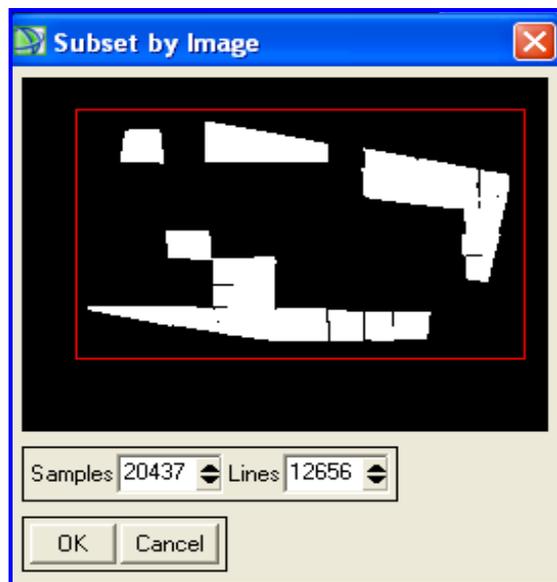


Figura 69. Para recortar cada una de las ROI. Superficie queda en el interior del cuadro rojo

Este mismo proceso se realiza para cada una de las imágenes ROI.

Para hallar los valores estadísticos que se necesitan para calcular los histogramas mediante el uso del lenguaje IDL, se hará lo siguiente:

Se tiene un doble bucle for recorriendo las filas y columnas de cada una de las ROI (18000,24000) y si las coordenadas de los píxel que se están recorriendo son iguales a 1 entonces se debe hacer corresponder con el correspondiente píxel de mi imagen SAR (que es la imagen original) en que el píxel ocupará la misma posición ya que las imágenes son de las mismas dimensiones. Entonces una vez se encuentran los píxels de la imagen que son iguales a 1 en la imagen e igualándolo al píxel correspondiente en la imagen SAR, se incrementará el contador en 1 del valor que tenía contenido en la imagen original (supongamos que es el píxel de coordenadas (2,200), se hace corresponder con el píxel (2,200) de la imagen original. Se ve el contenido que almacena en esa posición la imagen original (por ejemplo 32) y ese valor que contenía es el que en el histograma se hace incrementar en uno.

Se localiza cuál es el mínimo y el máximo de la imagen original. Se crea entre esos dos extremos un rango de valores que vayan aumentando logarítmicamente sin contar el cero, creando un vector lleno de ceros. De esta forma se recorre el array que anteriormente se creó con los valores de la imagen original y el resto ceros, y en el momento en el que se van encontrando valores que no sean ceros se van almacenando en el vector que se ha creado en la posición (en uno de los intervalos) que le corresponda según su valor. Y así después poder contar el número de valores que se tiene en cada intervalo obteniendo así la frecuencia. Y así se obtiene un histograma para cada una de las regiones de interés que se crearon antes (vegetación Pekín, rascacielos Pekín, medio-alta Pekín, y medio-baja Pekín). Estos histogramas me dan la frecuencia con la que aparecen los valores de la imagen original iguales a 1.

De esta forma, una vez conseguidos los valores y parámetros estadísticos que se necesitan se podrían obtener los mismos histogramas que ya vimos anteriormente. Habiendo logrado familiarizarnos con el lenguaje de programación IDL que marcamos como objetivo.

El desarrollo del código realizado en lenguaje IDL se puede ver en el Apéndice A

A continuación se quiere encontrar la función de distribución que mejor realice la aproximación de dichos histogramas.

4.6 USO DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN

4.6.1 Distribución Gamma

Es una distribución adecuada para modelizar el comportamiento de variables aleatorias continuas con asimetría positiva. Es decir, variables que presentan una mayor densidad de sucesos a la izquierda de la media que a la derecha. En su expresión se encuentran dos parámetros, siempre positivos, (α) y (β) de los que depende su forma y alcance por la derecha, y también la función Gamma $\Gamma(\alpha)$, responsable de la convergencia de la distribución.

Los parámetros de la distribución

El primer parámetro (α) sitúa la máxima intensidad de probabilidad y por este motivo en algunas fuentes se denomina “la forma” de la distribución: cuando se toman valores próximos a cero aparece entonces un dibujo muy similar al de la distribución exponencial. Cuando se toman valores más grandes de (α) el centro de la distribución se desplaza a la derecha y va apareciendo la forma de una campana de Gauss con asimetría positiva. Es el segundo parámetro (β) el que determina la forma o alcance de esta asimetría positiva desplazando la densidad de probabilidad en la cola de la derecha. Para valores elevados de (β) la distribución acumula más densidad de probabilidad en el extremo derecho de la cola, alargando mucho su dibujo y dispersando la probabilidad a lo largo del plano. Al dispersar, la probabilidad la altura máxima de densidad de probabilidad se va reduciendo; de aquí que se le denomine “escala”. Valores más pequeños de (β) conducen a una figura más simétrica y concentrada, con un pico de densidad de probabilidad más elevado.

Una forma de interpretar (β) es “tiempo promedio entre ocurrencia de un suceso”. Relacionándose con el parámetro de la Poisson como $\beta=1/\lambda$. Alternativamente λ será el ratio de ocurrencia: $\lambda=1/\beta$.

Usando algunos de los valores estadísticos de las ROI que se calcularon anteriormente podremos saber el valor de los parámetros alfa y theta (o β como lo hemos llamado antes) que necesitamos.

En la imagen de **PEKÍN**:

Para ROI Medio-Baja (mediobassa):

Basic Stats	Min	Max	Mean	Stdev
Band 1	0	32676	126.699259	211.491935

Para ROI Rascacielos (grattazieli):

Basic Stats	Min	Max	Mean	Stdev
Band 1	0	32767	143.400716	271.583788

Para ROI Medio-Alta (medioalta):

Basic Stats	Min	Max	Mean	Stdev
Band 1	0	32754	138.052938	279.204693

Para ROI Vegetación (vegetazione):

Basic Stats	Min	Max	Mean	Stdev
Band 1	0	32736	123.085703	238.480500

varianza_mediobassa = (Stdev)^2 = 44728.83857

varianza_grattacieli = (Stdev)^2 = 73757.7539

varianza_medioalta = (Stdev)^2 = 77955.26059

varianza_vegetazione = (Stdev)^2 = 56872.94888

alfa_mediobassa = media_mediobassa*media_mediobassa/varianza_mediobassa =
0.358889314

alfa_grattacieli = media_grattacieli*media_grattacieli/varianza_grattacieli =
0.278801404

alfa_medioalta = media_medioalta*media_medioalta/varianza_medioalta =
0.244481431

alfa_vegetazione = media_vegetazione*media_vegetazione/varianza_vegetazione =
0.26638482

teta_mediobassa = varianza_mediobassa/media_mediobassa = 353.031572

teta_grattacieli = varianza_grattacieli/media_grattacieli = 514.3471801

teta_medioalta = varianza_medioalta/media_medioalta = 564.6765779

teta_vegetazione = varianza_vegetazione/media_vegetazione = 462.0597478

Una vez tenemos los parámetros usaremos la función **gamma de Excel** la cual devuelve la probabilidad de una variable aleatoria siguiendo una distribución gamma.

DISTR.GAMMA(x; alfa; beta; acumulado)

X es el valor al que desea evaluar la distribución.

Alfa es un parámetro de la distribución.

Beta es un parámetro de la distribución. Si beta = 1, DISTR.GAMMA devuelve la probabilidad de una variable aleatoria siguiendo una distribución Gamma estándar.

Acum es un valor lógico que determina la forma de la función. Si el argumento acum es VERDADERO, DISTR.GAMMA devuelve la función de distribución acumulativa; si es FALSO, devuelve la función de densidad de probabilidad.

(Ver más en detalle en APÉNDICE B)

Lo intentamos primero con la ROI Rascacielos de Pekín.

=DISTR.GAMMA(A4;0,27879;1;VERDADERO)

DN	Npixel
0	0
129	8,79873E-59
258	1
387	1
516	1
645	1
774	1
903	1
1032	1
1161	1
1290	1
1419	1
1548	1
1677	1
1806	1
1935	1
2064	1
2193	1
2322	1
2451	1
2580	1
2709	1
2838	1
2967	1

·
·
·

31734	1
31863	1
31992	1
32121	1
32250	1
32379	1
32508	1
32637	1
32766	1

Tabla 12. Distribución Gamma. Acumulado a VERDADERO

Como no se obtienen valores válidos, se cambia el parámetro 'acumulado' a FALSO.

=DISTR.GAMMA(A6;0,27879;1;FALSO)

DN	Npixel
0	0
129	8,79873E-59
258	5,0504E-115
387	3,5673E-171
516	2,7431E-227
645	2,2099E-283
774	0
903	0
1032	0
1161	0
1290	0
1419	0
1548	0
1677	0
1806	0
1935	0
2064	0
2193	0
2322	0
2451	0
2580	0
2709	0
2838	0
2967	0

·
·
·

31863	0
31992	0
32121	0
32250	0
32379	0
32508	0
32637	0
32766	0

Tabla 13. Distribución Gamma. Acumulado a FALSO

Lo cual como podemos observar tampoco proporciona valores válidos.

Investigando y leyendo diversos artículos (MB Wilk, R Gnanadesikan, MJ Huyett: Estimation of parameters of the gamma distribution using order statistics, 1962), se puede ver que los fallos en el uso de la distribución Gamma, a parte de las posibles inexactitudes que pueda tener la función que utilizamos en Excel, se trata de un problema que viene de lejos en el tiempo (John V. Grice and Lee J. Bain: Inferences Concerning the Mean of the Gamma Distribution, 1980).

Si se escogen valores altos de alfa y pequeños de beta en la distribución Gamma, podemos igualarla a la distribución gaussiana.

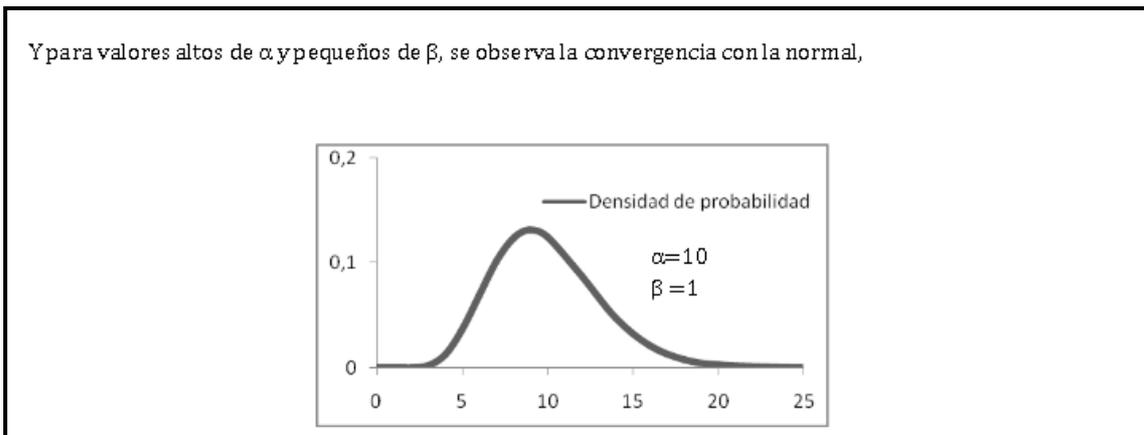


Figura 70. Distribución Gamma para valores altos de alfa y pequeños de beta

Por tanto, decidimos continuar el estudio con esta distribución.

4.6.2 Distribución Normal o gaussiana

La *distribución gaussiana*, recibe también el nombre de *distribución normal*, ya que una gran mayoría de las variables aleatorias continuas de la naturaleza siguen esta distribución (ver APÉNDICE C)

Se quiere comprobar si la distribución gaussiana consigue aproximar los resultados obtenidos en los histogramas anteriores.

Para ROI Rascacielos Pekín se obtienen los siguientes resultados:

DN	Gaussiana	Histograma
0	233913,901	21974470
129	308259,778	6346562
258	258707,662	1743273
387	138271,707	742677
516	47064,013	391538
645	10201,7855	230999
774	1408,29949	147060
903	123,807074	98901
1032	6,93150427	69492
1161	0,24713891	50536
1290	0,0056116	37926
1419	8,1145E-05	28609
1548	7,4726E-07	22675
1677	4,3824E-09	18188
1806	1,6368E-11	14781
1935	3,893E-14	12018
2064	5,8969E-17	9929
2193	5,6884E-20	8302
2322	3,4945E-23	7038
2451	1,3671E-26	6032

·
·
·

31863	0	5
31992	0	2
32121	0	4
32250	0	8
32379	0	2
32508	0	7
32637	0	8
32766	0	2

Tabla 14. Histograma vs Distribución Gaussiana ROI Rascacielos Pekín

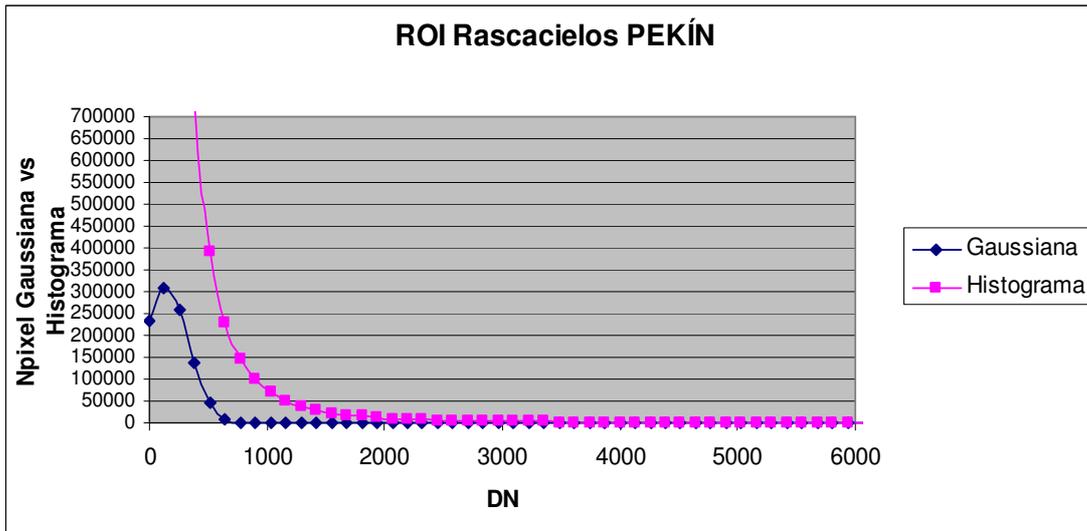


Figura 71. Histograma vs Gaussiana ROI Rascacielos Pekín

ROI Vegetación Pekín

DN	Gaussiana	Histograma
0	476754,388	43951137
129	621894,978	11473986
258	451846,216	2558124
387	182858,645	955815
516	41218,4441	476463
645	5175,1023	275189
774	361,907458	173122
903	14,0970219	115945
1032	0,30584999	81212
1161	0,00369608	59109
1290	2,4879E-05	43841
1419	9,3274E-08	34016
1548	1,9478E-10	26606
1677	2,2656E-13	21355
1806	1,4678E-16	17250
1935	5,2968E-20	14147
2064	1,0646E-23	11911
2193	1,1919E-27	9884
.	.	.
.	.	.
.	.	.
32508	0	6
32637	0	8

Tabla 15. Histograma vs Distribución Gaussiana ROI Vegetación Pekín

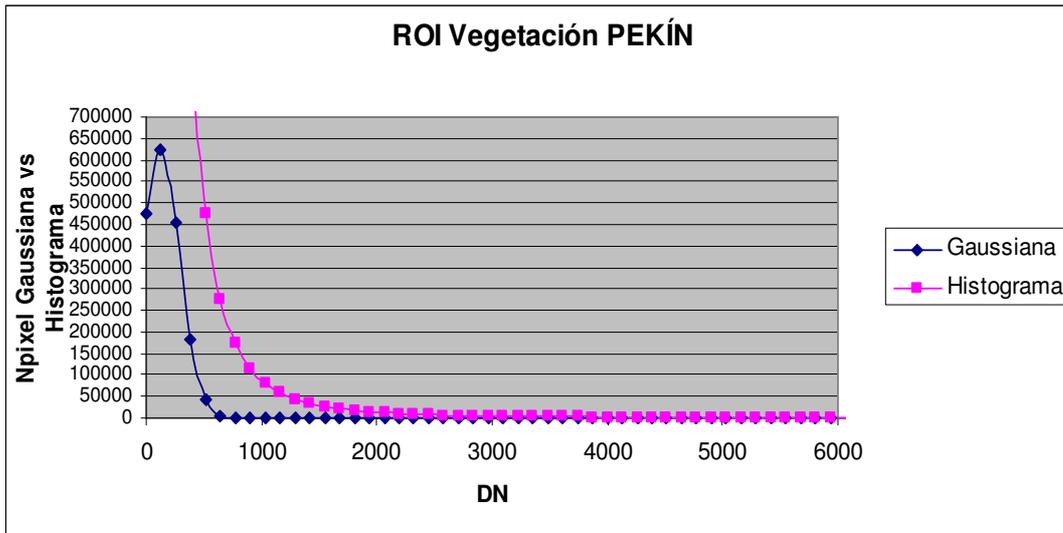


Figura 72. Histograma vs Gaussiana ROI Vegetación Pekín

ROI Medio-Baja Pekín

DN	Gaussiana	Histograma
0	188754,101	17424646
129	270214,499	4941433
258	183810,135	1227212
387	59412,6345	462451
516	9125,08081	226246
645	665,952388	127137
774	23,0939485	77940
903	0,38054127	50441
1032	0,00297957	34604
1161	1,1085E-05	24649
1290	1,9598E-08	17841
1419	1,6463E-11	13507
1548	6,5712E-15	10670
1677	1,2464E-18	8223
1806	1,1233E-22	6640
1935	4,8104E-27	5289
2064	9,7886E-32	4297
2193	9,4647E-37	3634

·
·
·

32508	0	0
32637	0	1

Tabla 16. Histograma vs Distribución Gaussiana ROI Medio-Baja Pekín

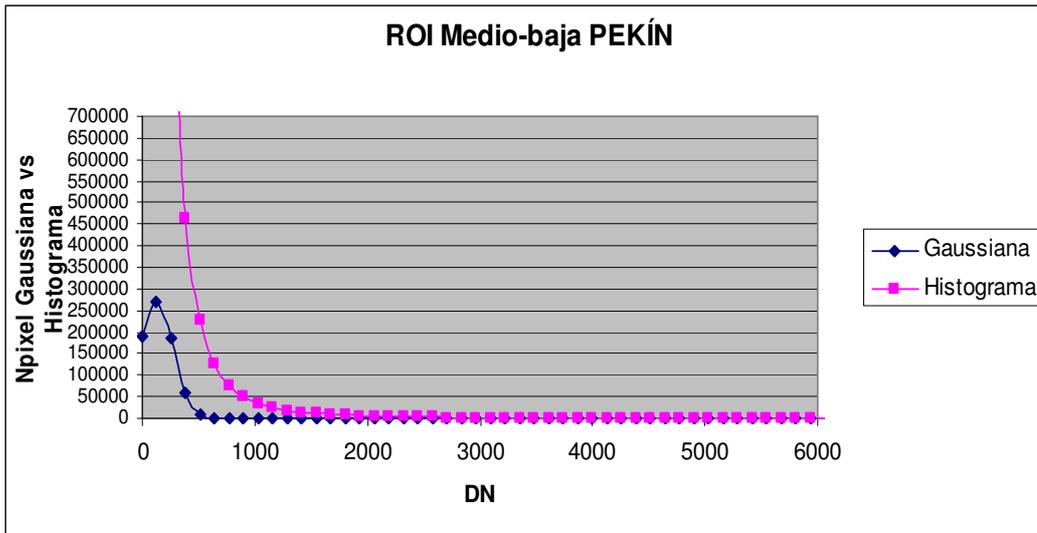


Figura 73. Histograma vs Gaussiana ROI Medio-Baja Pekín

ROI Medio-Alta Pekín

DN	Gaussiana	Histograma
0	461323,13	43011430
129	588471,705	12292490
258	489812,061	3218271
387	266021,598	1295115
516	94273,1143	664023
645	21799,2898	389063
774	3289,12492	244590
903	323,818701	164783
1032	20,8020922	116096
1161	0,87195815	84944
1290	0,02384887	63295
1419	0,00042562	47894
1548	4,9564E-06	38059
1677	3,766E-08	30200
1806	1,8672E-10	24468
1935	6,0406E-13	20095
2064	1,2751E-15	16740
2193	1,7564E-18	14207

·
·
·

32379	0	7
32508	0	6
32637	0	3

Tabla 17. Histograma vs Distribución Gaussiana ROI Medio-Alta Pekín

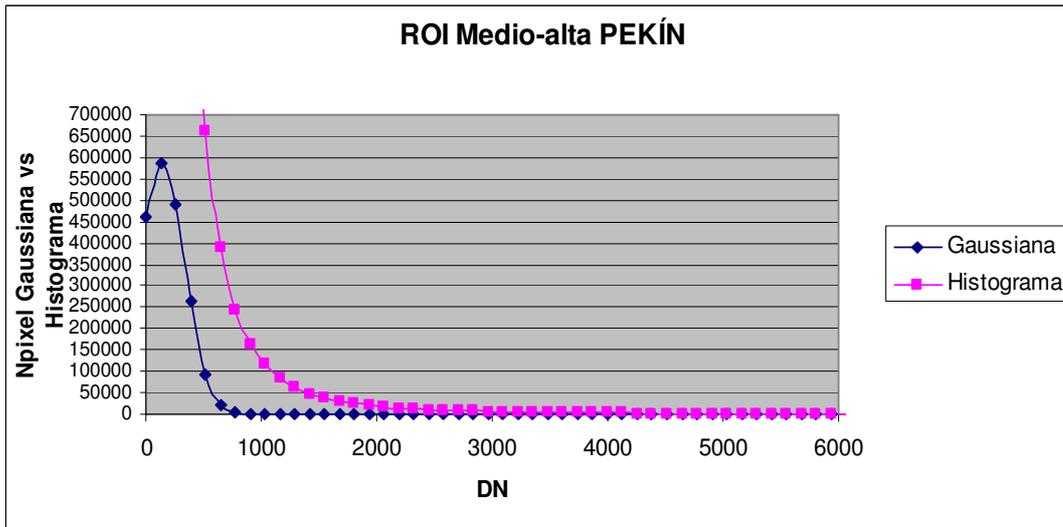


Figura 74. Histograma vs Gaussiana ROI Medio-Alta Pekín

ROI Baja Shangai

DN	Gaussiana	Histograma
0	329962,495	30361872
129	418280,314	11843194
258	403290,231	3705880
387	295743,637	1582477
516	164953,125	814289
645	69976,6447	474136
774	22578,3975	300896
903	5540,90295	202397
1032	1034,22589	142642
1161	146,824217	103639
1290	15,8535825	78144
1419	1,30198076	59918
1548	0,08132595	47208
1677	0,00386368	37582
1806	0,00013961	30694
1935	3,837E-06	25052
2064	8,0205E-08	20633

·
·
·

32250	0	18
32379	0	10
32508	0	13
32637	0	29

Tabla 18. Histograma vs Distribución Gaussiana ROI Baja Shangai

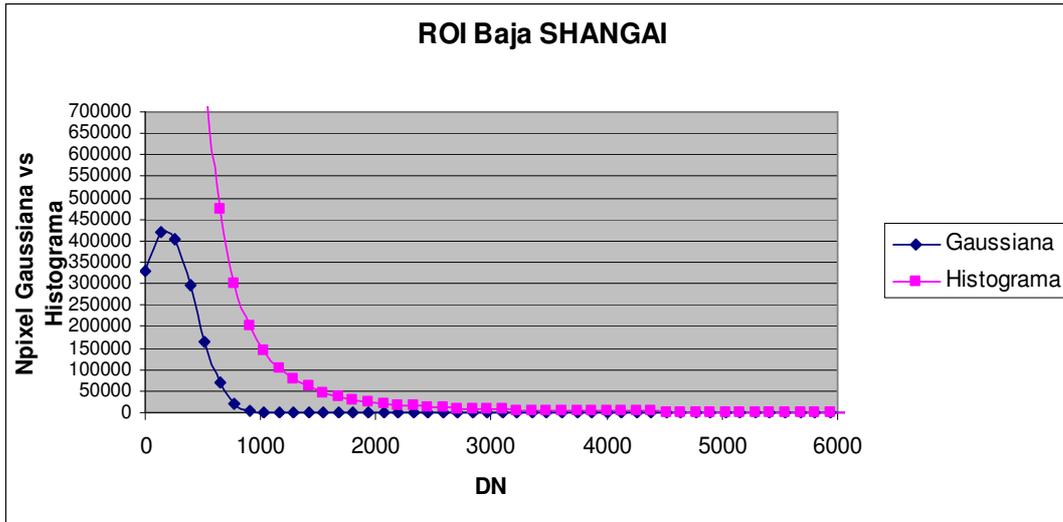


Figura 75. Histograma vs Gaussiana ROI Baja Shangai

ROI Media Shangai

DN	Gaussiana	Histograma
0	173682,266	16371935
129	213483,615	5780233
258	205674,524	1874361
387	155311,399	821114
516	91924,8737	428487
645	42645,1484	249965
774	15506,4755	158222
903	4419,40135	106832
1032	987,235284	75129
1161	172,856125	54791
1290	23,7222433	41066
1419	2,55172352	31761
1548	0,21513861	24860
1677	0,01421707	19660
1806	0,00073639	16003
1935	2,9896E-05	13269
2064	9,5132E-07	11012

·
·
·

32379	0	6
32508	0	4
32637	0	13

Tabla 19. Histograma vs Distribución Gaussiana ROI Media Shangai

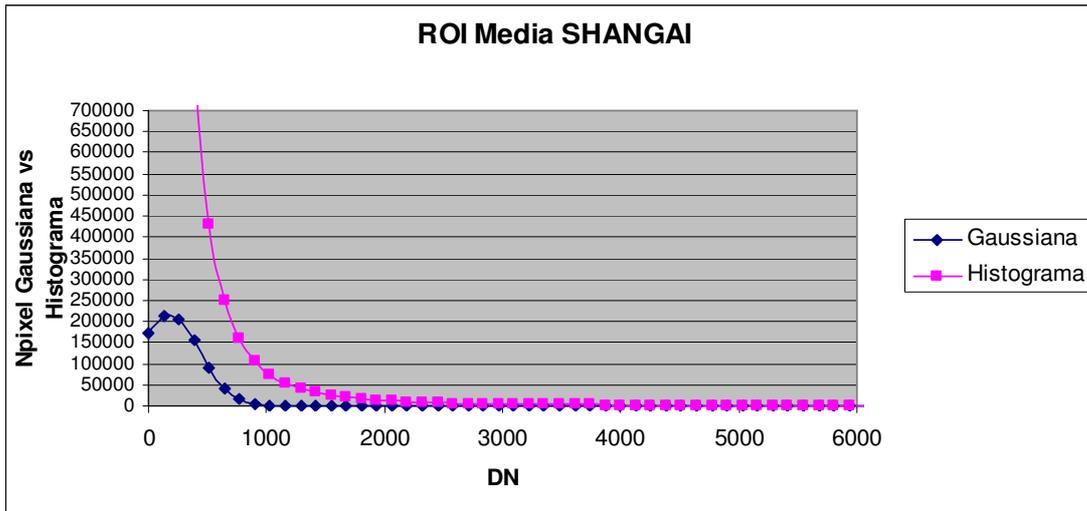


Figura 76. Histograma vs Gaussiana ROI Media Shangai

ROI Alta Shangai

DN	Gaussiana	Histograma
0	300240,811	29108507
129	352297,685	11615282
258	357624,993	3827862
387	314068,183	1779805
516	238615,158	987220
645	156837,577	609760
774	89182,6196	404536
903	43872,091	282557
1032	18671,2954	204912
1161	6874,45975	153915
1290	2189,68026	118814
1419	603,393798	93761
1548	143,846397	74556
1677	29,667103	60479
1806	5,29333401	50105
1935	0,81707414	41643
2064	0,10911178	35482

·
·
·

32379	0	34
32508	0	24
32637	0	34

Tabla 20. Histograma vs Distribución Gaussiana ROI Alta Shangai

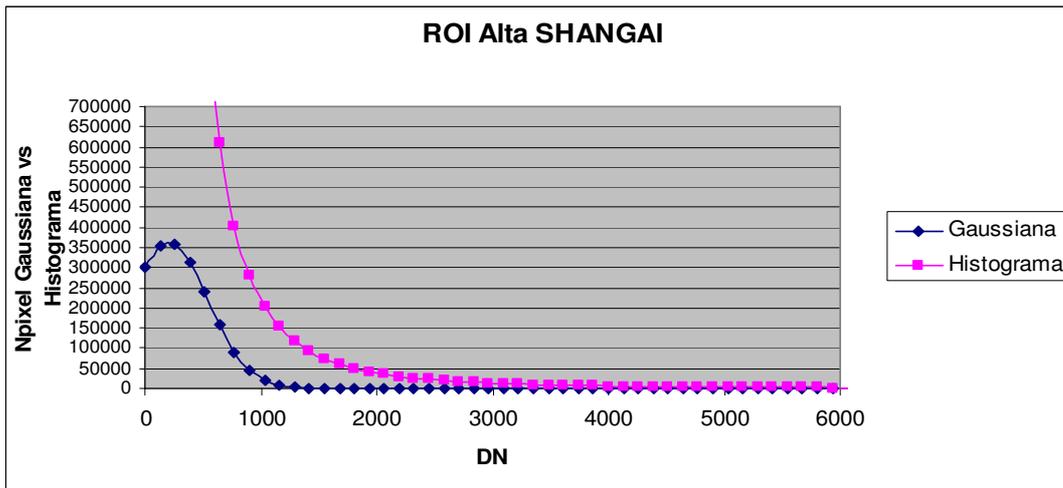


Figura 77. Histograma vs Gaussiana ROI Alta Shangai

ROI Rascielos Shangai

DN	Gaussiana	Histograma
0	20872,981	2113004
129	23348,6583	976448
258	24354,2697	342745
387	23687,7617	173446
516	21483,6797	103976
645	18168,9172	67476
774	14327,9862	46987
903	10536,0299	34213
1032	7224,44624	26448
1161	4619,21169	20045
1290	2754,01879	15934
1419	1531,09333	12540
1548	793,72884	10290
1677	383,688152	8183
1806	172,949913	7239
1935	72,6939116	5943
2064	28,4912472	5095
2193	10,4126343	4475

·
·
·

32508	0	2
32637	0	2
32766	0	1

Tabla 21. Histograma vs Distribución Gaussiana ROI Rascielos Shangai

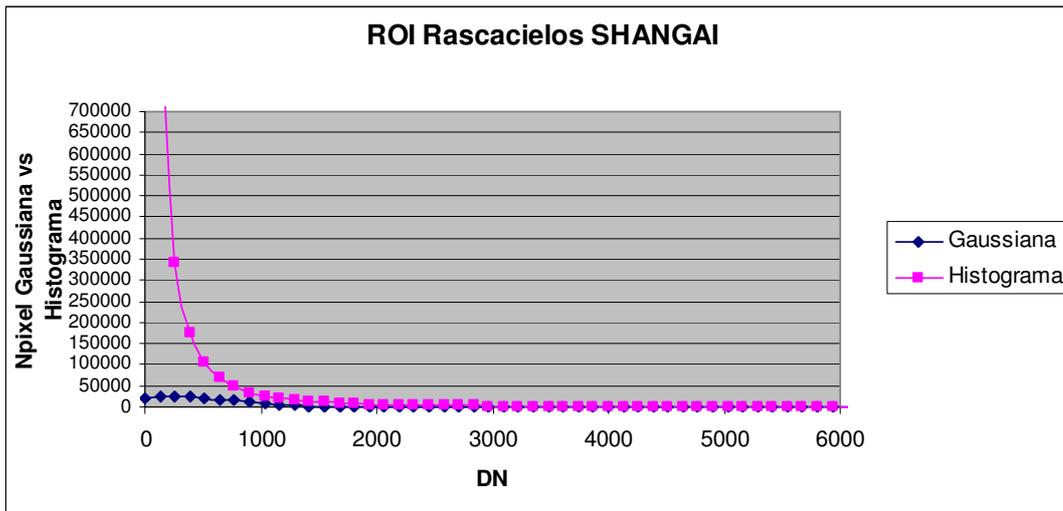


Figura 78. Histograma vs Gaussiana ROI Rascacielos Shangai

ROI Agua Shangai

DN	Gaussiana	Histograma
0	136417,937	13109516
128	161048,752	1272563
256	85582,7532	232503
384	20471,8998	96865
512	2204,31188	53182
640	106,839277	33144
768	2,330944	22637
896	0,02289158	15986
1024	0,0001012	12002
1152	2,0137E-07	9229
1280	1,8037E-10	7182
1408	7,2725E-14	5517
1536	1,3199E-17	4413
1664	1,0783E-21	3642
1792	3,9654E-26	2989
1920	6,5641E-31	2372
2048	4,8911E-36	2046
2176	1,6405E-41	1734
2304	2,4768E-47	1434
2432	1,6833E-53	1249
2560	5,1494E-60	1106
2688	7,091E-67	1001
2816	4,3954E-74	806
.	.	.
.	.	.
.	.	.
32256	0	0
32384	0	0
32512	0	1

Tabla 22. Histograma vs Distribución Gaussiana ROI Agua Shangai

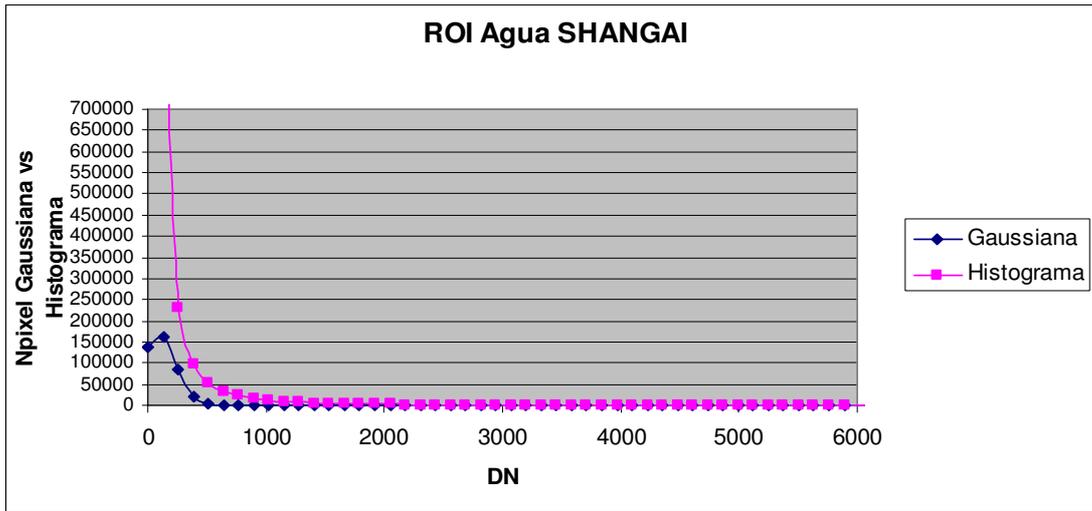


Figura 79. Histograma vs Gaussiana ROI Agua Shangai

5 EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

Evaluamos las funciones de distribución que intentan hacer una buena aproximación de los histogramas, comenzando primero por la distribución Gamma.

Tal y como comentamos, con esta distribución no obtenemos resultados aceptables y nos damos cuenta investigando y leyendo diversos artículos que a parte de las posibles inexactitudes que puede tener la función en Excel que empleamos, se trata de un problema que viene de lejos en el tiempo.

Viendo que si se escogen valores altos de alfa y pequeños de beta en la distribución Gamma, podemos igualarla a la distribución gaussiana, decidimos continuar el estudio con esta otra distribución

Se usó la distribución Gaussiana con el mismo fin. Con ella al menos se consiguieron resultados aceptables, con lo cual, obtendremos los errores relativos y absolutos en comparación con los histogramas, para cada una de las ROI en estudio.

Para ROI Media Shangai

Histograma	Gaussiana	DN	Error absoluto intervalo	Porcentaje Error absoluto intervalo	Porcentaje Acumulado	Error relativo intervalo= $\frac{\text{Abs Nphistograma-Npgaussiana }}{\text{Nphistograma}}$
16371935	173682,3	0	16198252,73	1,0608536	88,78928	0,98939146
5780233	213483,6	129	5566749,385	3,6933393		0,96306661
1874361	205674,5	258	1668686,476	10,973048		0,89026952
821114	155311,4	387	665802,6009	18,914718		0,81085282
428487	91924,87	516	336562,1263	21,453364		0,78546636
249965	42645,15	645	207319,8516	17,060448		0,82939552
158222	15506,48	774	142715,5245	9,8004547		0,90199545
106832	4419,401	903	102412,5987	4,1367768		0,95863223
75129	987,2353	1032	74141,76472	1,3140535		0,98685946
54791	172,8561	1161	54618,14388	0,3154827		0,99684517
41066	23,72224	1290	41042,27776	0,0577661		0,99942234
31761	2,551724	1419	31758,44828	0,0080341		0,99991966
24860	0,215139	1548	24859,78486	0,0008654		0,99999135
19660	0,014217	1677	19659,98578	7,231E-05		0,99999928
16003	0,000736	1806	16002,99926	4,602E-06		0,99999995
13269	2,99E-05	1935	13268,99997	2,253E-07		1
11012	9,51E-07	2064	11012	8,639E-09		1

.

.

.

13	0	32637	13	0		1
----	---	-------	----	---	--	---

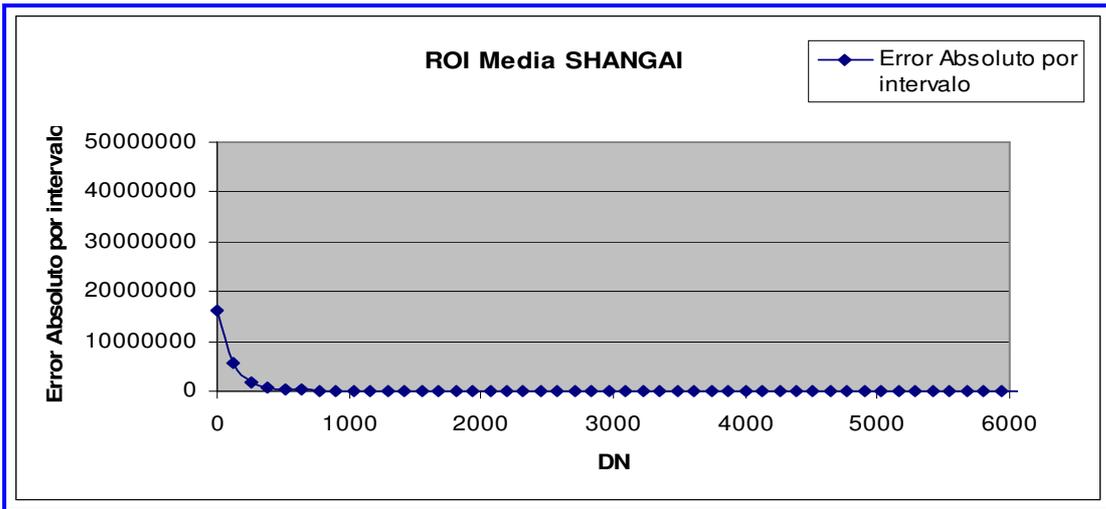


Figura 80. Error Absoluto por intervalo ROI Media Shangai

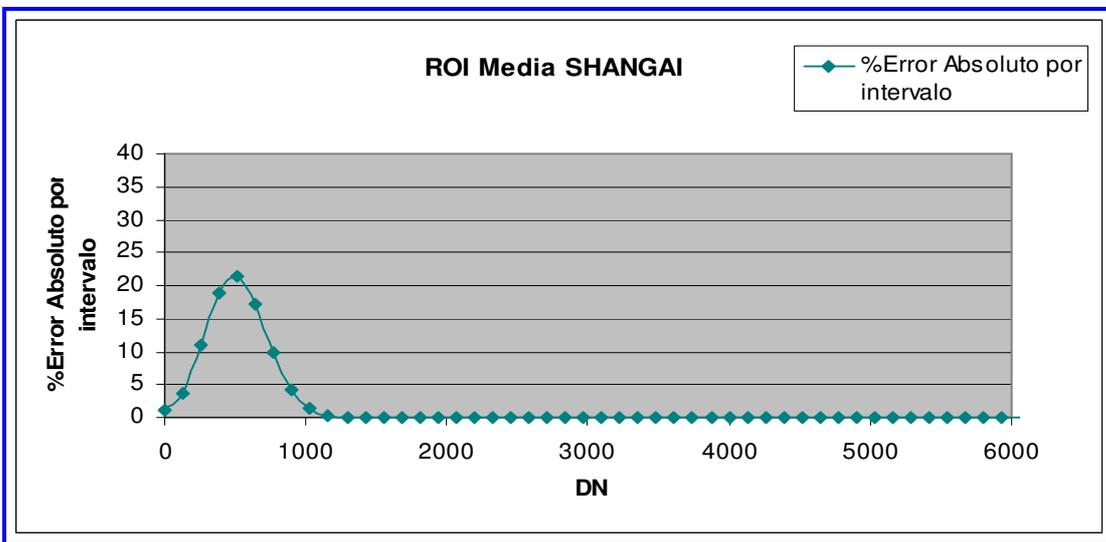


Figura 81. %Error Absoluto por intervalo ROI Media Shangai

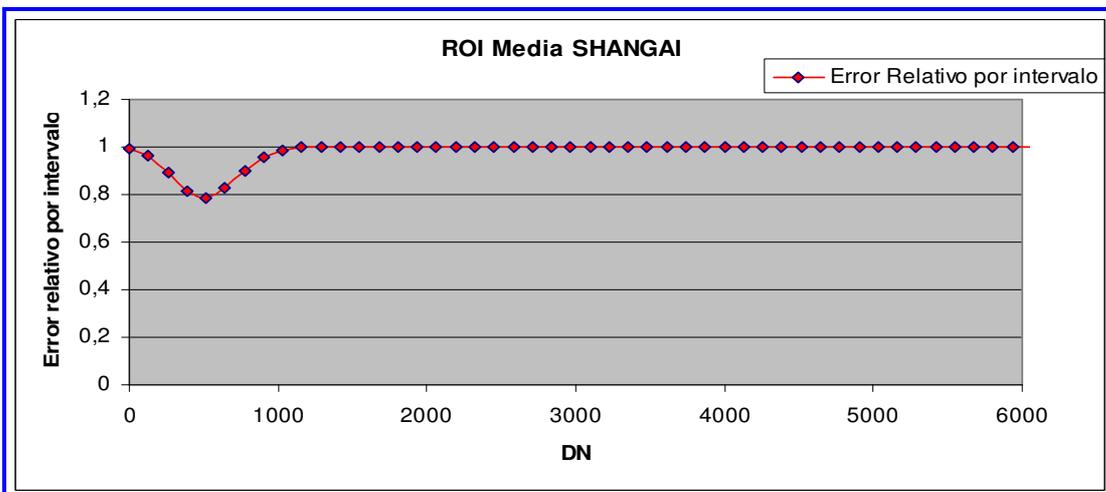


Figura 82. Error Relativo por intervalo ROI Media Shangai

Para ROI Baja Shangai

Histograma	Gaussiana	DN	Error absoluto intervalo	Porcentaje Error absoluto intervalo	Porcentaje Acumulado	Error relativo intervalo= $\frac{Abs}{N}$ histograma- $\frac{Npgaussiana}{Nphistograma}$
30361872	329962,5	0	30031909,5	1,08676598	80,3365	0,98913234
11843194	418280,31	129	11424913,69	3,53182016		0,9646818
3705880	403290,23	258	3302589,769	10,8824417		0,89117558
1582477	295743,64	387	1286733,363	18,6886531		0,81311347
814289	164953,12	516	649335,8754	20,2573195		0,7974268
474136	69976,645	645	404159,3553	14,7587706		0,85241229
300896	22578,397	774	278317,6025	7,50372137		0,92496279
202397	5540,9029	903	196856,0971	2,73764085		0,97262359
142642	1034,2259	1032	141607,7741	0,72505005		0,9927495
103639	146,82422	1161	103492,1758	0,14166889		0,99858331
78144	15,853582	1290	78128,14642	0,02028765		0,99979712
59918	1,3019808	1419	59916,69802	0,00217294		0,99997827
47208	0,081326	1548	47207,91867	0,00017227		0,99999828
37582	0,0038637	1677	37581,99614	1,0281E-05		0,9999999
30694	0,0001396	1806	30693,99986	4,5485E-07		1
25052	3,837E-06	1935	25052	1,5316E-08		1
20633	8,021E-08	2064	20633	3,8872E-10		1
17390	1,275E-09	2193	17390	7,3327E-12		1
14745	1,542E-11	2322	14745	1,0458E-13		1
12682	1,418E-13	2451	12682	1,1183E-15		1
10807	9,92E-16	2580	10807	9,1797E-18		1
9426	5,278E-18	2709	9426	5,5996E-20		1
8158	2,136E-20	2838	8158	2,6182E-22		1
7145	6,574E-23	2967	7145	9,2008E-25		1
6243	1,539E-25	3096	6243	2,4651E-27		1
5559	2,74E-28	3225	5559	4,9291E-30		1
4863	3,711E-31	3354	4863	7,6304E-33		1
4450	3,822E-34	3483	4450	8,5887E-36		1
4029	2,994E-37	3612	4029	7,4315E-39		1
3576	1,784E-40	3741	3576	4,9889E-42		1

·
·
·

10	0	32379	10	0		1
13	0	32508	13	0		1
29	0	32637	29	0		1

Tabla 24. Histograma vs Distribución Gaussiana Errores relativos y Absolutos ROI Baja Shangai

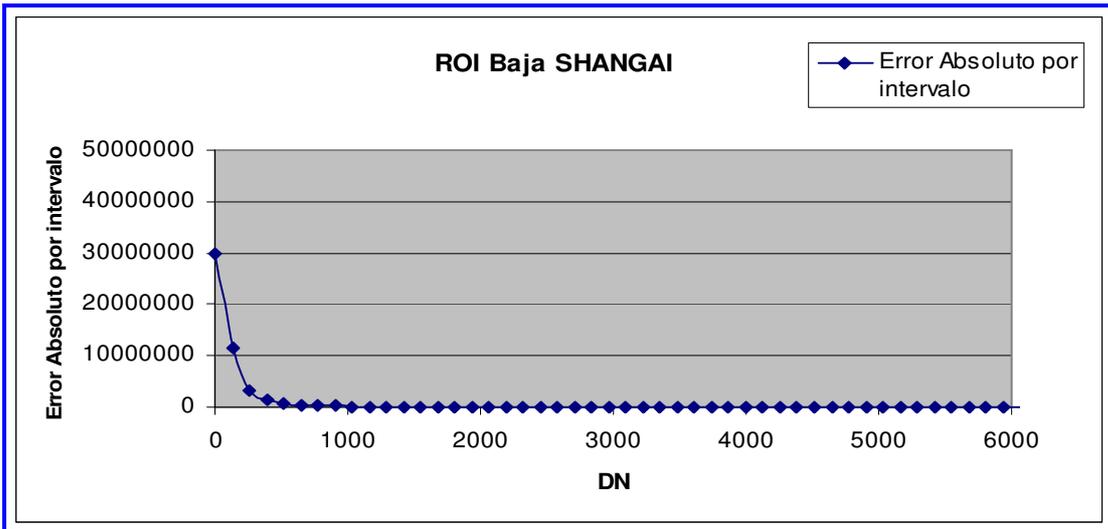


Figura 83. Error Absoluto por intervalo ROI Baja Shangai

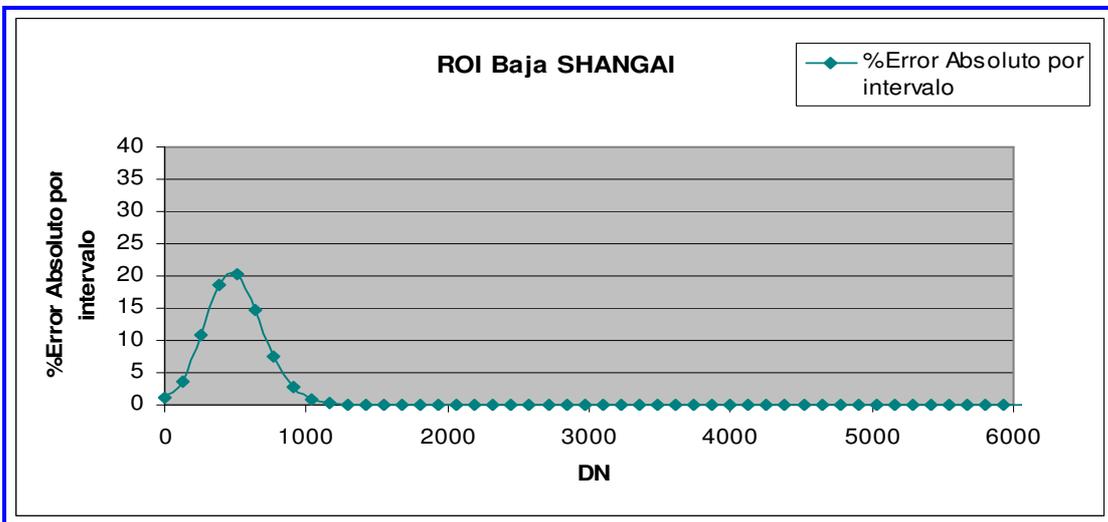


Figura 84. % Error Absoluto por intervalo ROI Baja Shangai

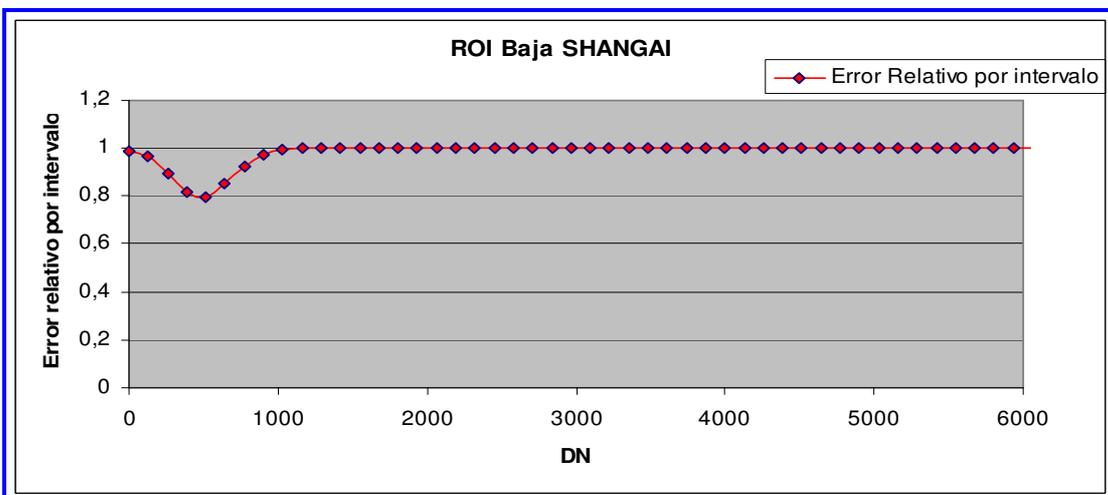


Figura 85. Error relativo por intervalo ROI Baja Shangai

Para ROI Alta Shangai

Histograma	Gaussiana	DN	Error absoluto intervalo	Porcentaje Error absoluto intervalo	Porcentaje Acumulado	Error relativo intervalo=Abs/Nphistograma-Npgaussiana/Nphistograma
29108507	300240,811	0	28808266,19	1,0314538	134,83711	0,98968546
11615282	352297,685	129	11262984,31	3,0330532		0,96966947
3827862	357624,993	258	3470237,007	9,3426825		0,90657318
1779805	314068,183	387	1465736,817	17,646213		0,82353787
987220	238615,158	516	748604,8418	24,170414		0,75829586
609760	156837,577	645	452922,4233	25,721198		0,74278802
404536	89182,6196	774	315353,3804	22,045657		0,77954343
282557	43872,091	903	238684,909	15,526811		0,84473189
204912	18671,2954	1032	186240,7046	9,1118604		0,9088814
153915	6874,45975	1161	147040,5403	4,4664001		0,955336
118814	2189,68026	1290	116624,3197	1,842948		0,98157052
93761	603,393798	1419	93157,6062	0,6435445		0,99356455
74556	143,846397	1548	74412,1536	0,1929374		0,99807063
60479	29,667103	1677	60449,3329	0,0490536		0,99950946
50105	5,29333401	1806	50099,70667	0,0105645		0,99989436
41643	0,81707414	1935	41642,18293	0,0019621		0,99998038
35482	0,10911178	2064	35481,89089	0,0003075		0,99999692
29809	0,01260549	2193	29808,98739	4,229E-05		0,99999958
25934	0,00125987	2322	25933,99874	4,858E-06		0,99999995
22637	0,00010894	2451	22636,99989	4,812E-07		1
19252	8,1488E-06	2580	19251,99999	4,233E-08		1
17183	5,2734E-07	2709	17183	3,069E-09		1
14846	2,9524E-08	2838	14846	1,989E-10		1
13271	1,43E-09	2967	13271	1,078E-11		1
11816	5,9919E-11	3096	11816	5,071E-13		1
10581	2,1721E-12	3225	10581	2,053E-14		1
9598	6,8118E-14	3354	9598	7,097E-16		1
8639	1,8481E-15	3483	8639	2,139E-17		1
7766	4,3379E-17	3612	7766	5,586E-19		1
7134	8,8085E-19	3741	7134	1,235E-20		1
6443	1,5474E-20	3870	6443	2,402E-22		1

·
·
·

34	0	32379	34	0		1
24	0	32508	24	0		1
34	0	32637	34	0		1

Tabla 25. Histograma vs Distribución Gaussiana Errores relativos y Absolutos ROI Alta Shangai

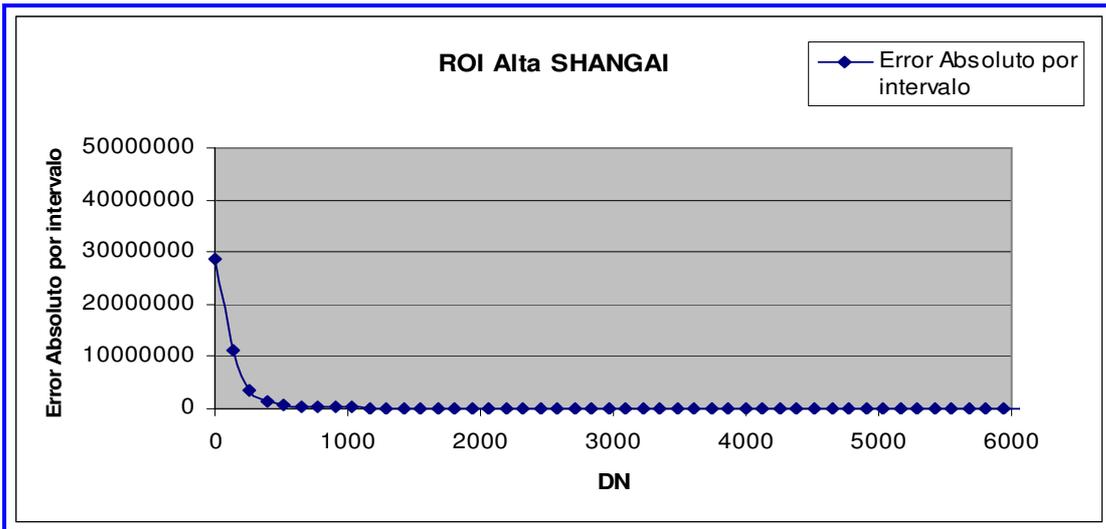


Figura 86. Error Absoluto por intervalo ROI Alta Shangai

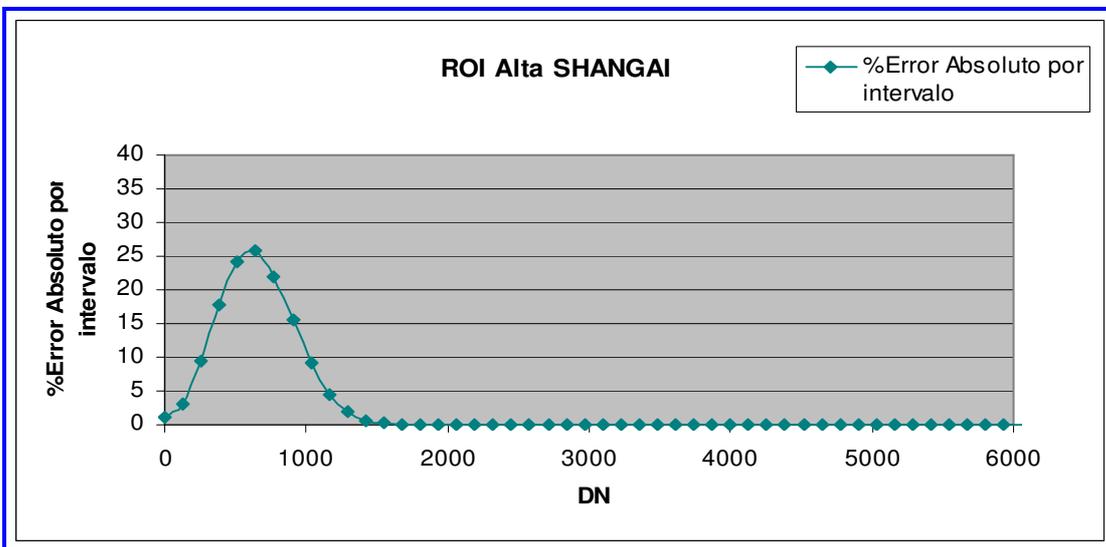


Figura 87. %Error Absoluto por intervalo ROI Alta Shangai

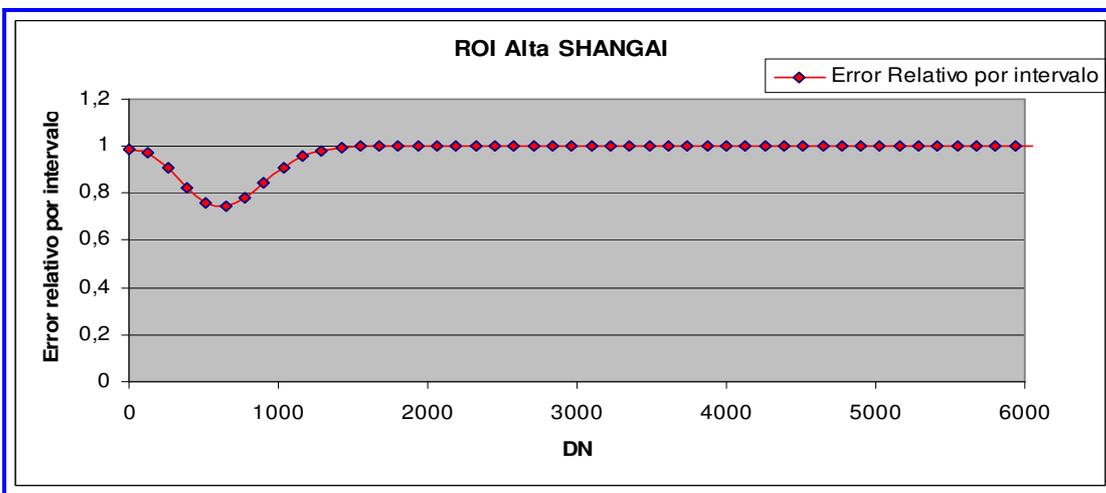


Figura 88. Error relativo por intervalo ROI Alta Shangai

Para ROI Rascacielos Shangai

Histograma	Gaussiana	DN	Error absoluto intervalo	Porcentaje Error absoluto intervalo	Porcentaje Acumulado	Error relativo intervalo= $\frac{Abs Nphistograma-Npgaussiana }{Nphistograma}$
2113004	20872,981	0	2092131,019	0,98783443	229,82401	0,99012166
976448	23348,6583	129	953099,3417	2,39118297		0,97608817
342745	24354,2697	258	318390,7303	7,10565281		0,92894347
173446	23687,7617	387	149758,2383	13,6571392		0,86342861
103976	21483,6797	516	82492,32026	20,6621526		0,79337847
67476	18168,9172	645	49307,08278	26,9264883		0,73073512
46987	14327,9862	774	32659,01382	30,4935114		0,69506489
34213	10536,0299	903	23676,97013	30,795399		0,69204601
26448	7224,44624	1032	19223,55376	27,3156618		0,72684338
20045	4619,21169	1161	15425,78831	23,044209		0,76955791
15934	2754,01879	1290	13179,98121	17,2839136		0,82716086
12540	1531,09333	1419	11008,90667	12,2096757		0,87790324
10290	793,72884	1548	9496,27116	7,71359417		0,92286406
8183	383,688152	1677	7799,311848	4,68884458		0,95311155
7239	172,949913	1806	7066,050087	2,38914095		0,97610859
5943	72,6939116	1935	5870,306088	1,22318546		0,98776815
5095	28,4912472	2064	5066,508753	0,55920014		0,994408
4475	10,4126343	2193	4464,587366	0,23268456		0,99767315
3764	3,54850564	2322	3760,451494	0,09427486		0,99905725
3335	1,12762869	2451	3333,872371	0,03381195		0,99966188
2881	0,33413538	2580	2880,665865	0,0115979		0,99988402
2668	0,09232399	2709	2667,907676	0,00346042		0,9999654
2327	0,02378715	2838	2326,976213	0,00102222		0,99998978
1989	0,00571486	2967	1988,994285	0,00028732		0,99999713
1860	0,00128028	3096	1859,99872	6,8832E-05		0,99999931
1711	0,00026745	3225	1710,999733	1,5631E-05		0,99999984
1593	5,2097E-05	3354	1592,999948	3,2704E-06		0,99999997
1385	9,4628E-06	3483	1384,999991	6,8323E-07		0,99999999
1402	1,6027E-06	3612	1401,999998	1,1432E-07		1
1184	2,5313E-07	3741	1184	2,1379E-08		1
1114	3,7278E-08	3870	1114	3,3463E-09		1
1015	5,1192E-09	3999	1015	5,0435E-10		1

·
·
·

2	0	32508	2	0		1
2	0	32637	2	0		1
1	0	32766	1	0		1

Tabla 26. Histograma vs Distribución Gaussiana Errores relativos y Absolutos ROI Rascacielos Shangai

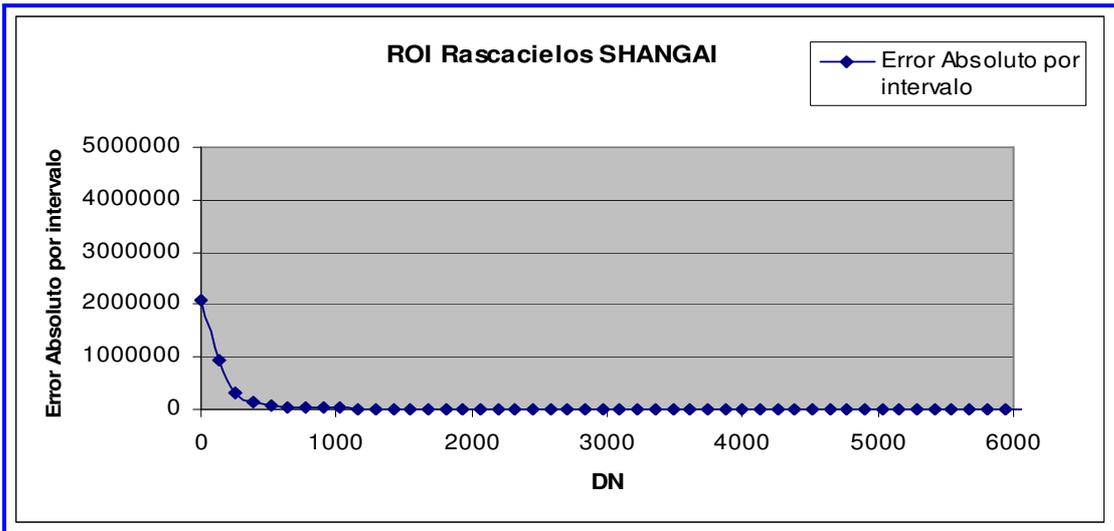


Figura 89. Error Absoluto por intervalo ROI Rascacielos Shangai

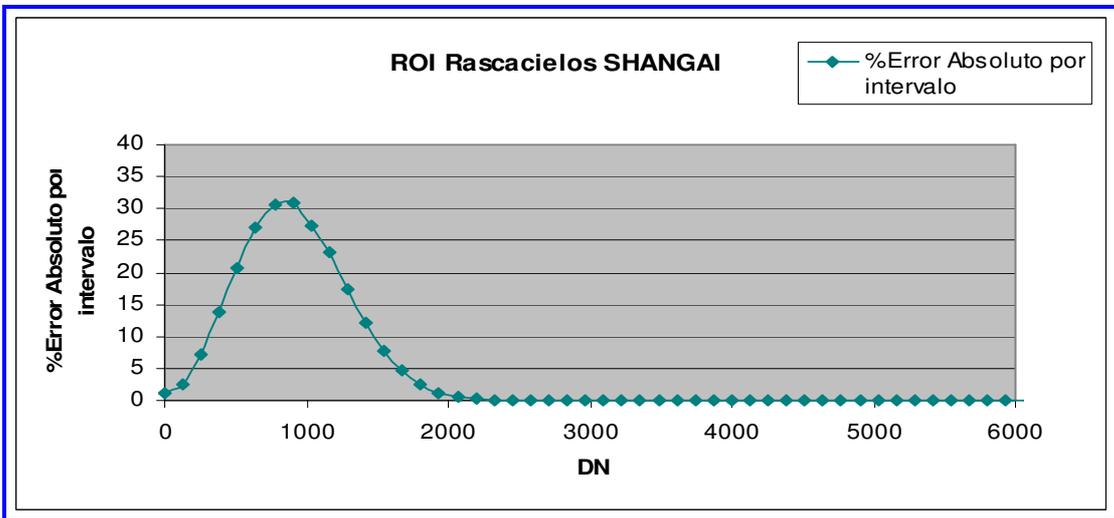


Figura 90. % Error Absoluto por intervalo ROI Rascacielos Shangai

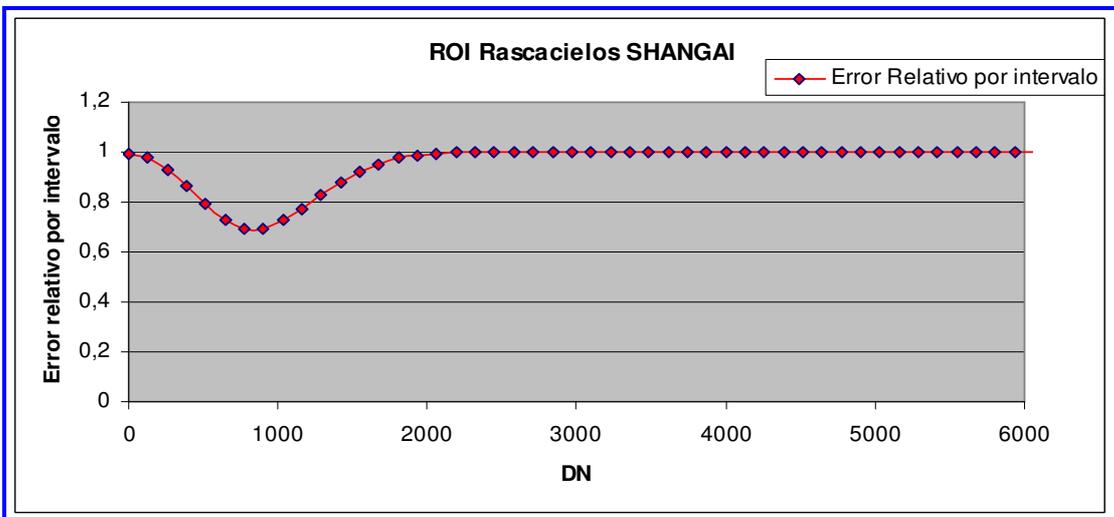


Figura 91. Error relativo por intervalo ROI Rascacielos Shangai

Para ROI Agua Shangai

Histograma	Gaussiana	DN	Error absoluto intervalo	Porcentaje Error absoluto intervalo	Porcentaje Acumulado	Error relativo intervalo=Abs Nphistograma-Npgaussiana /Nphistograma
13109516	136417,937	0	12973098,06	1,0406024	76,11748	0,98959398
1272563	161048,752	128	1111514,248	12,655464		0,87344536
232503	85582,7532	256	146920,2468	36,809311		0,63190689
96865	20471,8998	384	76393,10024	21,134465		0,78865535
53182	2204,31188	512	50977,68812	4,1448458		0,95855154
33144	106,839277	640	33037,16072	0,3223488		0,99677651
22637	2,330944	768	22634,66906	0,0102971		0,99989703
15986	0,02289158	896	15985,97711	0,0001432		0,99999857
12002	0,0001012	1024	12001,9999	8,432E-07		0,99999999
9229	2,0137E-07	1152	9229	2,182E-09		1
7182	1,8037E-10	1280	7182	2,511E-12		1
5517	7,2725E-14	1408	5517	1,318E-15		1
4413	1,3199E-17	1536	4413	2,991E-19		1
3642	1,0783E-21	1664	3642	2,961E-23		1
2989	3,9654E-26	1792	2989	1,327E-27		1
2372	6,5641E-31	1920	2372	2,767E-32		1
2046	4,8911E-36	2048	2046	2,391E-37		1
1734	1,6405E-41	2176	1734	9,461E-43		1
1434	2,4768E-47	2304	1434	1,727E-48		1
1249	1,6833E-53	2432	1249	1,348E-54		1
1106	5,1494E-60	2560	1106	4,656E-61		1
1001	7,091E-67	2688	1001	7,084E-68		1
806	4,3954E-74	2816	806	5,453E-75		1
734	1,2264E-81	2944	734	1,671E-82		1
681	1,5403E-89	3072	681	2,262E-90		1
542	8,708E-98	3200	542	1,607E-98		1
539	2,216E-106	3328	539	4,11E-107		1
475	2,539E-115	3456	475	5,34E-116		1
426	1,309E-124	3584	426	3,07E-125		1
389	3,038E-134	3712	389	7,81E-135		1
351	3,174E-144	3840	351	9,04E-145		1
319	1,493E-154	3968	319	4,68E-155		1
296	3,16E-165	4096	296	1,07E-165		1
259	3,012E-176	4224	259	1,16E-176		1
253	1,292E-187	4352	253	5,11E-188		1
232	2,494E-199	4480	232	1,08E-199		1

·
·
·

1	0	32512	1	0		1
---	---	-------	---	---	--	---

Tabla 27. Histograma vs Distribución Gaussiana Errores relativos y Absolutos ROI Agua Shangai

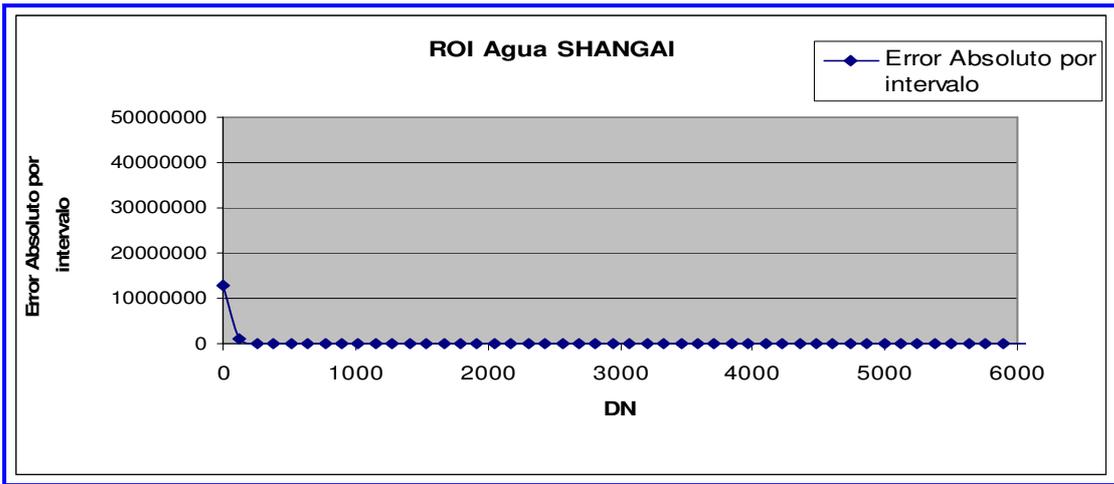


Figura 92. Error Absoluto por intervalo ROI Agua Shangai

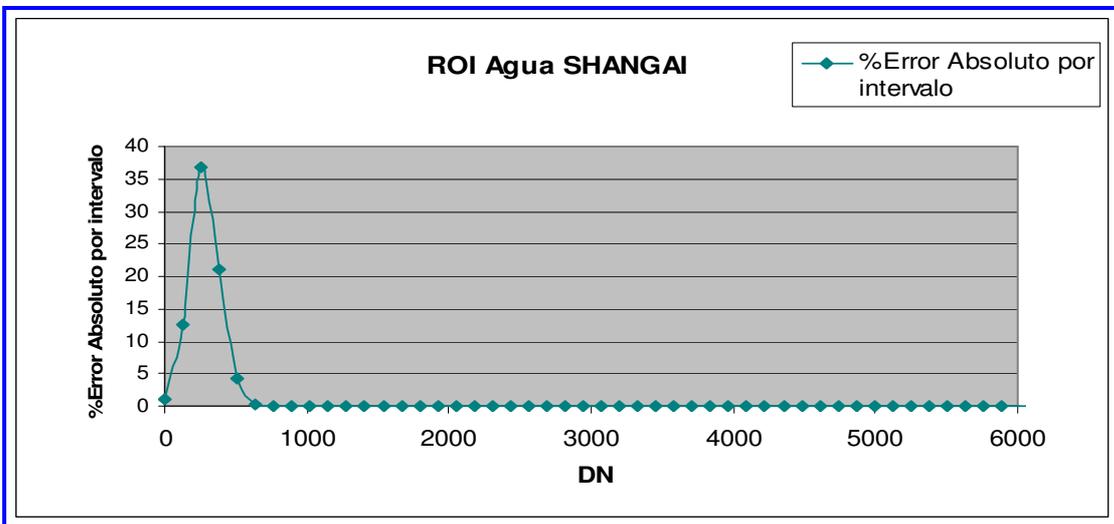


Figura 93. %Error Absoluto por intervalo ROI Agua Shangai

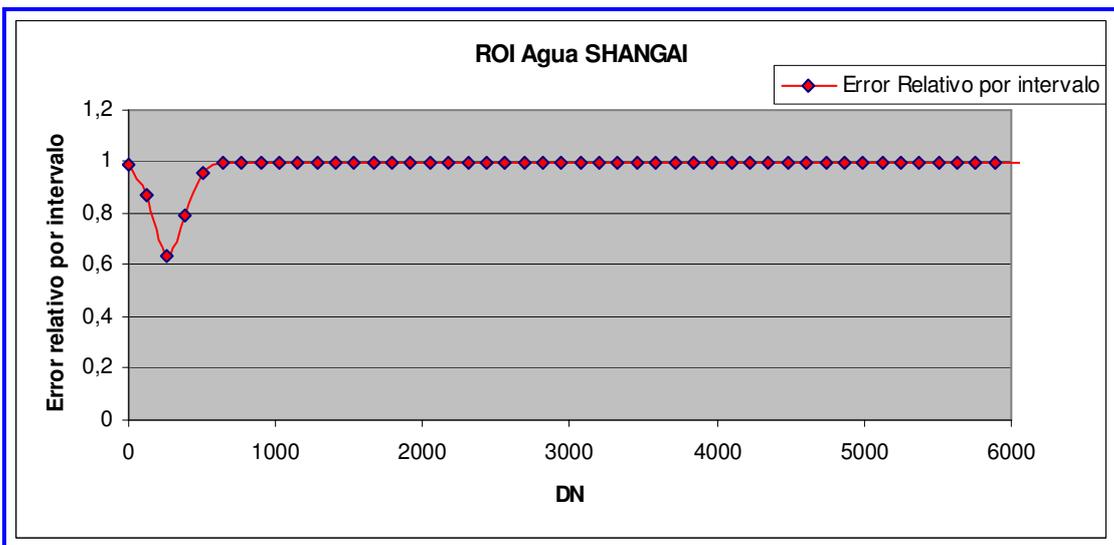


Figura 94.. Error relativo por intervalo ROI Agua Shangai

Para ROI Medio-Baja Pekín

Histograma	Gaussiana	DN	Error absoluto intervalo	Porcentaje Error absoluto intervalo	Porcentaje Acumulado	Error relativo intervalo=Abs Nphistograma-Npgaussiana /Nphistograma
17424646	188754,101	0	17235891,9	1,08325931	38,964258	0,98916741
4941433	270214,499	129	4671218,501	5,46834287		0,94531657
1227212	183810,135	258	1043401,865	14,9778632		0,85022137
462451	59412,6345	387	403038,3655	12,8473361		0,87152664
226246	9125,08081	516	217120,9192	4,03325619		0,95966744
127137	665,952388	645	126471,0476	0,52380691		0,99476193
77940	23,0939485	774	77916,90605	0,02963042		0,9997037
50441	0,38054127	903	50440,61946	0,00075443		0,99999246
34604	0,00297957	1032	34603,99702	8,6105E-06		0,99999991
24649	1,1085E-05	1161	24648,99999	4,4973E-08		1
17841	1,9598E-08	1290	17841	1,0985E-10		1
13507	1,6463E-11	1419	13507	1,2188E-13		1
10670	6,5712E-15	1548	10670	6,1586E-17		1
8223	1,2464E-18	1677	8223	1,5157E-20		1
6640	1,1233E-22	1806	6640	1,6917E-24		1
5289	4,8104E-27	1935	5289	9,095E-29		1
4297	9,7886E-32	2064	4297	2,278E-33		1
3634	9,4647E-37	2193	3634	2,6045E-38		1
3064	4,3486E-42	2322	3064	1,4192E-43		1
2459	9,4936E-48	2451	2459	3,8608E-49		1
2258	9,8484E-54	2580	2258	4,3616E-55		1
1922	4,8546E-60	2709	1922	2,5258E-61		1
1667	1,1371E-66	2838	1667	6,821E-68		1
1417	1,2655E-73	2967	1417	8,9308E-75		1
1253	6,6925E-81	3096	1253	5,3412E-82		1
1108	1,6818E-88	3225	1108	1,5178E-89		1
968	2,0081E-96	3354	968	2,0745E-97		1
838	1,139E-104	3483	838	1,36E-105		1
746	3,072E-113	3612	746	4,118E-114		1
716	3,935E-122	3741	716	5,496E-123		1
624	2,395E-131	3870	624	3,839E-132		1
572	6,929E-141	3999	572	1,211E-141		1
512	9,523E-151	4128	512	1,86E-151		1
431	6,219E-161	4257	431	1,443E-161		1
420	1,93E-171	4386	420	4,595E-172		1
386	2,846E-182	4515	386	7,373E-183		1
334	1,994E-193	4644	334	5,97E-194		1

⋮

1	0	32637	1	0		1
---	---	-------	---	---	--	---

Tabla 28. Histograma vs Distribución Gaussiana Errores relativos y Absolutos ROI Medio-Baja Pekín

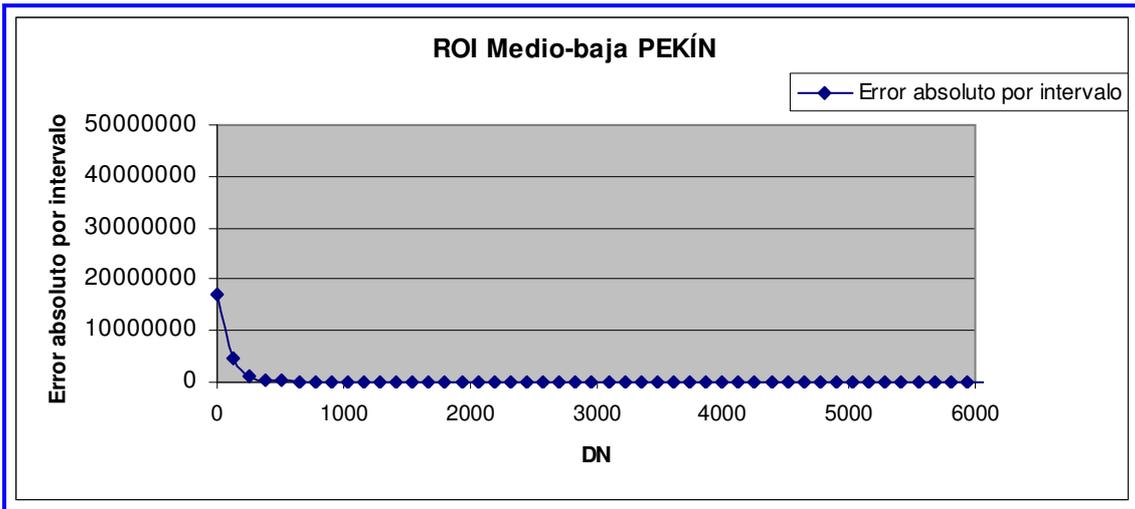


Figura 95. Error Absoluto por intervalo ROI Medio-Baja Pekín

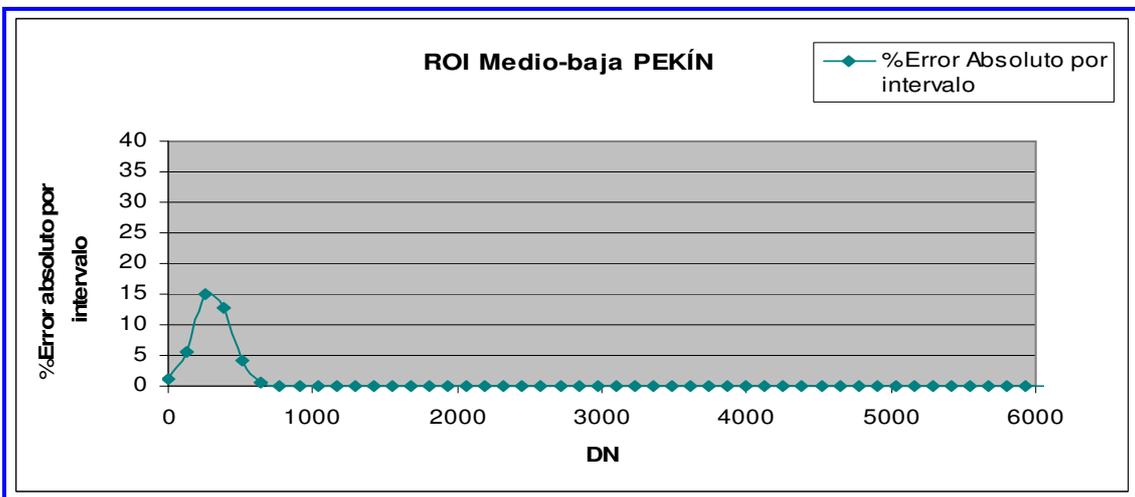


Figura 96. % Error Absoluto por intervalo ROI Medio-Baja Pekín

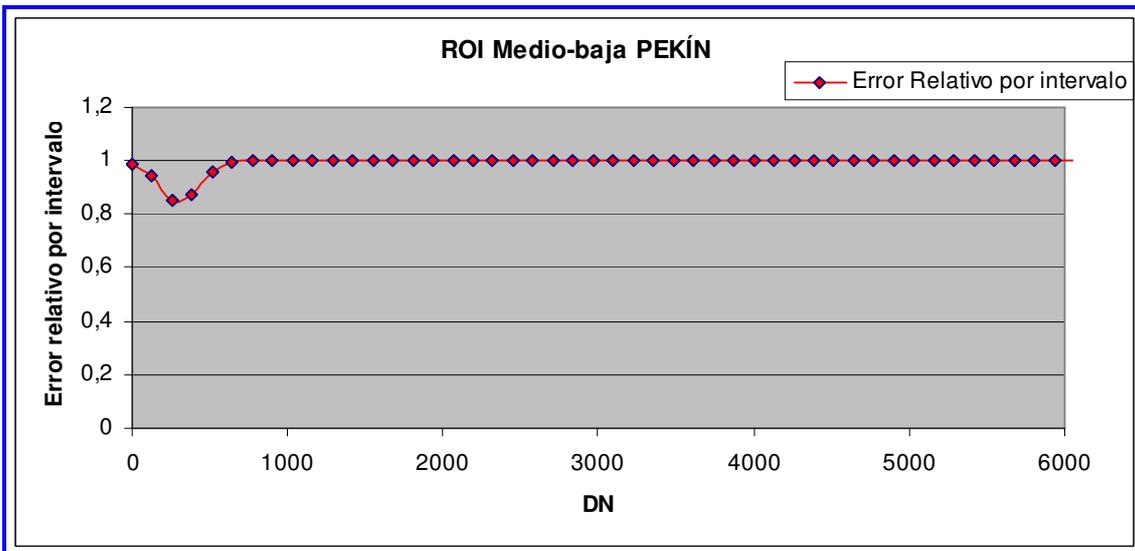


Figura 97. Error relativo por intervalo ROI Medio-Baja Pekín

Para ROI Vegetación Pekín

Histograma	Gaussiana	DN	Error absoluto intervalo	Porcentaje Error absoluto intervalo	Porcentaje Acumulado	Error relativo intervalo=Abs Nphistograma-Npgaussiana /Nphistograma
43951137	476754,388	0	43474382,61	1,0847373	54,052217	0,98915263
11473986	621894,978	129	10852091,02	5,420043		0,94579957
2558124	451846,216	258	2106277,784	17,663187		0,82336813
955815	182858,645	387	772956,3549	19,131175		0,80868825
476463	41218,4441	516	435244,5559	8,6509223		0,91349078
275189	5175,1023	645	270013,8977	1,8805629		0,98119437
173122	361,907458	774	172760,0925	0,2090476		0,99790952
115945	14,0970219	903	115930,903	0,0121584		0,99987842
81212	0,30584999	1032	81211,69415	0,0003766		0,99999623
59109	0,00369608	1161	59108,9963	6,253E-06		0,99999994
43841	2,4879E-05	1290	43840,99998	5,675E-08		1
34016	9,3274E-08	1419	34016	2,742E-10		1
26606	1,9478E-10	1548	26606	7,321E-13		1
21355	2,2656E-13	1677	21355	1,061E-15		1
17250	1,4678E-16	1806	17250	8,509E-19		1
14147	5,2968E-20	1935	14147	3,744E-22		1
11911	1,0646E-23	2064	11911	8,938E-26		1
9884	1,1919E-27	2193	9884	1,206E-29		1
8301	7,4326E-32	2322	8301	8,954E-34		1
7364	2,5816E-36	2451	7364	3,506E-38		1
6219	4,9943E-41	2580	6219	8,031E-43		1
5432	5,3818E-46	2709	5432	9,908E-48		1
4676	3,2302E-51	2838	4676	6,908E-53		1
4162	1,0799E-56	2967	4162	2,595E-58		1
3611	2,0108E-62	3096	3611	5,569E-64		1
3388	2,0856E-68	3225	3388	6,156E-70		1
2857	1,2048E-74	3354	2857	4,217E-76		1
2524	3,8769E-81	3483	2524	1,536E-82		1

.

.

.

12	0	31347	12	0		1
7	0	31476	7	0		1
7	0	31605	7	0		1
8	0	31734	8	0		1
7	0	31863	7	0		1
4	0	31992	4	0		1
11	0	32121	11	0		1
6	0	32250	6	0		1
8	0	32379	8	0		1
6	0	32508	6	0		1
8	0	32637	8	0		1

Tabla 29. Histograma vs Distribución Gaussiana Errores relativos y Absolutos ROI Vegetación Pekín

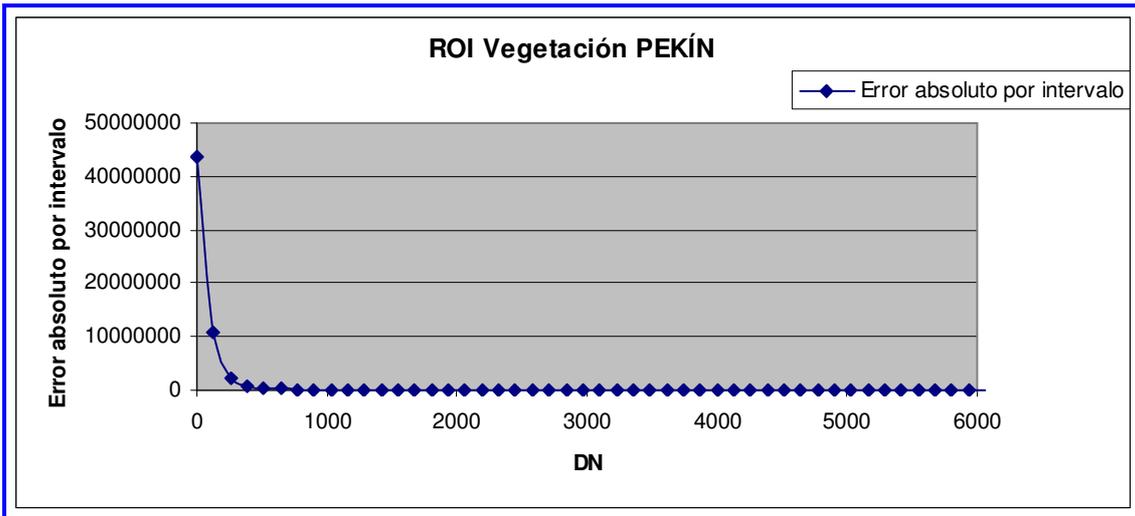


Figura 98. Error Absoluto por intervalo ROI Vegetación Pekín

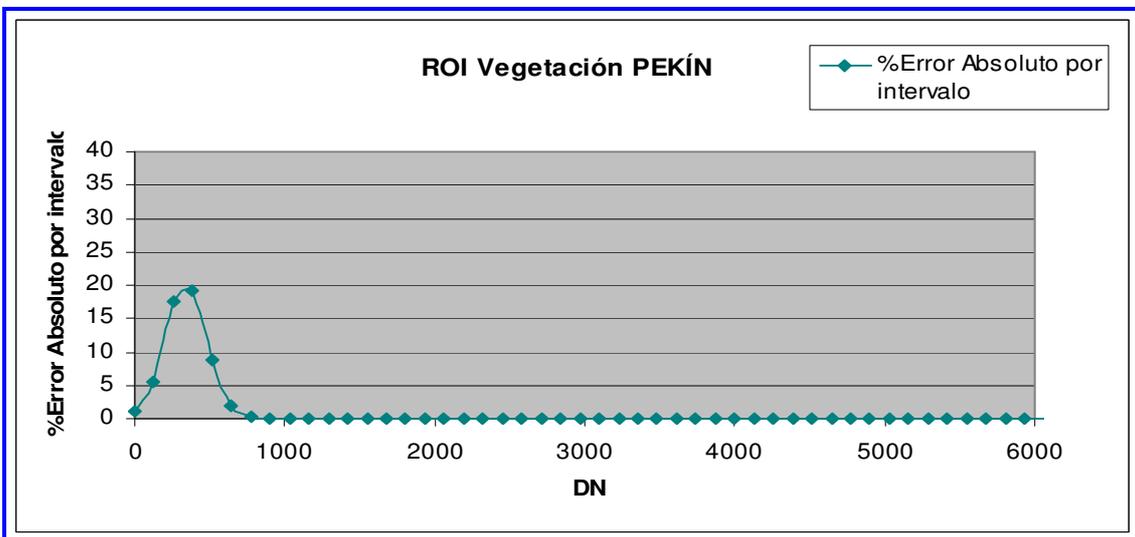


Figura 99. %Error Absoluto por intervalo ROI Vegetación Pekín

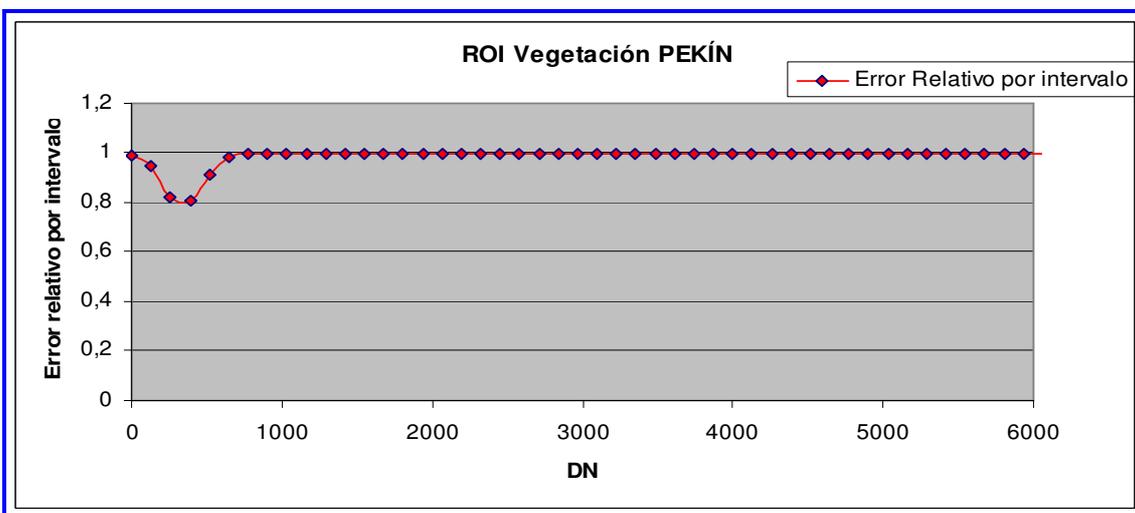


Figura 100. Error relativo por intervalo ROI Vegetación Pekín

Para ROI Medio-Alta Pekín

Histograma	Gaussiana	DN	Error absoluto intervalo	Porcentaje Error absoluto intervalo	Porcentaje Acumulado	Error relativo intervalo=Abs/Nphistograma-Npgaussiana/Nphistograma
43011430	461323,13	0	42550106,87	1,07255939	62,980452	0,98927441
12292490	588471,705	129	11704018,3	4,78724575		0,95212754
3218271	489812,061	258	2728458,939	15,219727		0,84780273
1295115	266021,598	387	1029093,402	20,5403843		0,79459616
664023	94273,1143	516	569749,8857	14,1972664		0,85802734
389063	21799,2898	645	367263,7102	5,60302311		0,94396977
244590	3289,12492	774	241300,8751	1,34475037		0,9865525
164783	323,818701	903	164459,1813	0,1965122		0,99803488
116096	20,8020922	1032	116075,1979	0,01791801		0,99982082
84944	0,87195815	1161	84943,12804	0,00102651		0,99998973
63295	0,02384887	1290	63294,97615	3,7679E-05		0,99999962
47894	0,00042562	1419	47893,99957	8,8867E-07		0,99999999
38059	4,9564E-06	1548	38059	1,3023E-08		1
30200	3,766E-08	1677	30200	1,247E-10		1
24468	1,8672E-10	1806	24468	7,6312E-13		1
20095	6,0406E-13	1935	20095	3,006E-15		1
16740	1,2751E-15	2064	16740	7,6173E-18		1
14207	1,7564E-18	2193	14207	1,2363E-20		1
11886	1,5785E-21	2322	11886	1,3281E-23		1
10058	9,2571E-25	2451	10058	9,2037E-27		1
8503	3,5423E-28	2580	8503	4,1659E-30		1
7494	8,8445E-32	2709	7494	1,1802E-33		1
6662	1,441E-35	2838	6662	2,1629E-37		1
5631	1,5318E-39	2967	5631	2,7203E-41		1
5079	1,0625E-43	3096	5079	2,092E-45		1
4461	4,8092E-48	3225	4461	1,0781E-49		1
3975	1,4203E-52	3354	3975	3,5731E-54		1
3577	2,737E-57	3483	3577	7,6517E-59		1
3240	3,4415E-62	3612	3240	1,0622E-63		1
2804	2,8236E-67	3741	2804	1,007E-68		1
2556	1,5117E-72	3870	2556	5,9141E-74		1

·
·
·

10	0	31863	10	0		1
8	0	31992	8	0		1
5	0	32121	5	0		1
4	0	32250	4	0		1
7	0	32379	7	0		1
6	0	32508	6	0		1
3	0	32637	3	0		1

Tabla 30. Histograma vs Distribución Gaussiana Errores relativos y Absolutos ROI Medio-Alta Pekín

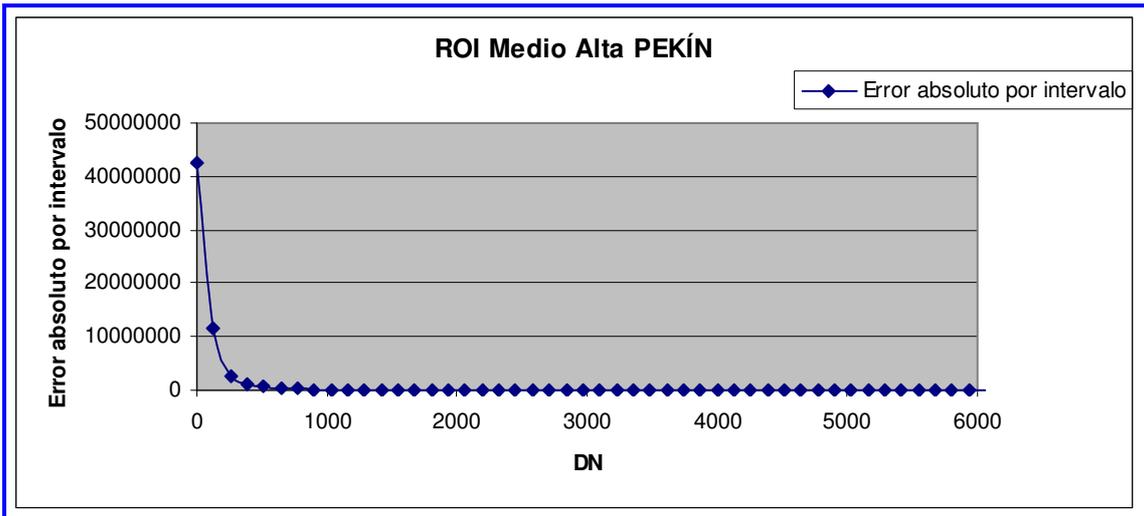


Figura 101. Error Absoluto por intervalo ROI Alta Pekín

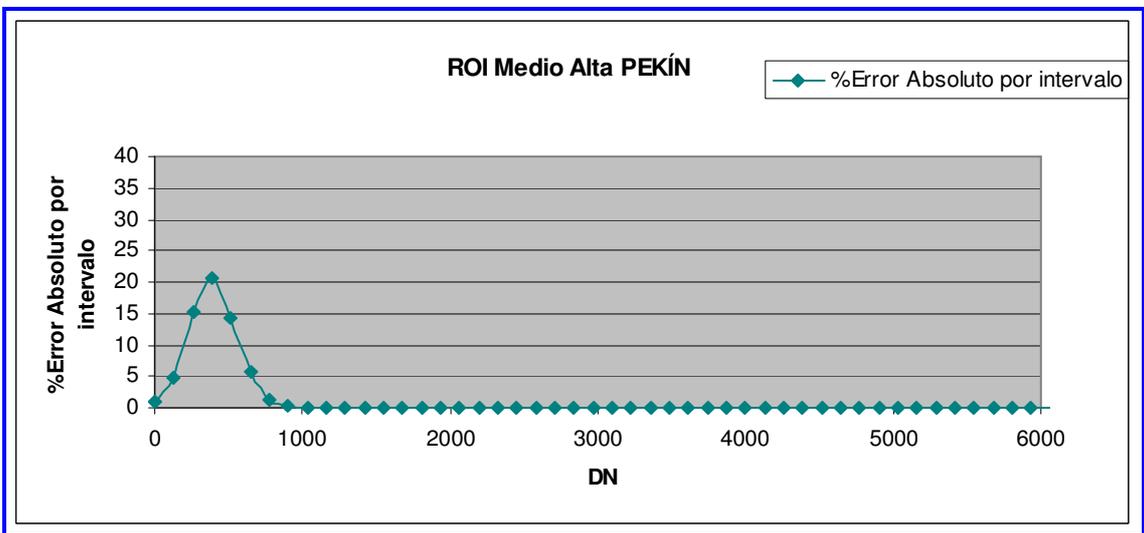


Figura 102. %Error Absoluto por intervalo ROI Alta Pekín

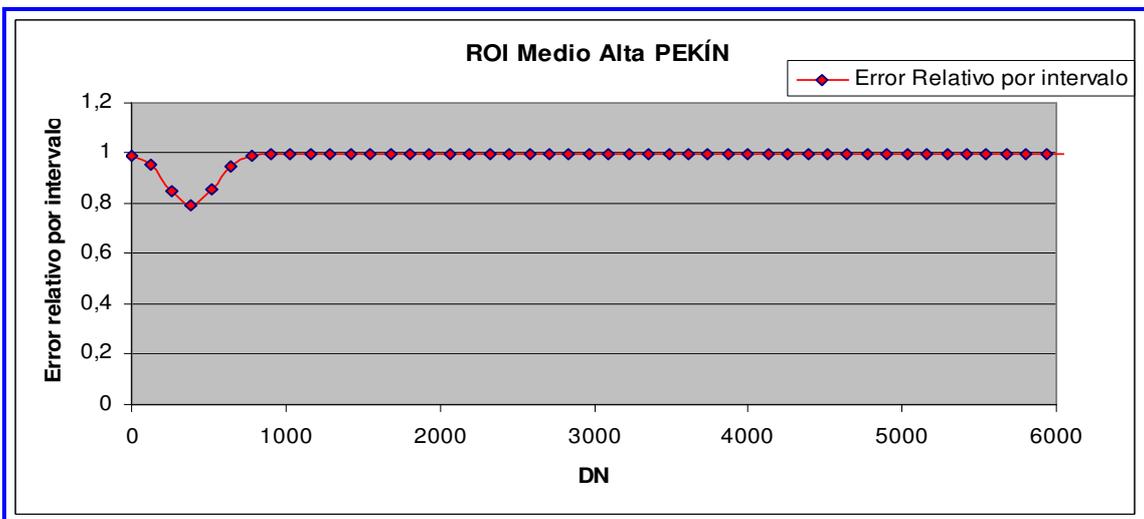


Figura 103. Error relativo por intervalo ROI AltaPekín

Para ROI Rascacielos Pekín

Histograma	Gaussiana	DN	Error absoluto intervalo	Porcentaje Error absoluto intervalo	Porcentaje Acumulado	Error relativo intervalo=Abs/Nphistograma-Npgaussiana/Nphistograma
21974470	233913,901	0	21740556,1	1,0644803	56,90992	0,9893552
6346562	308259,778	129	6038302,222	4,8571144		0,95142886
1743273	258707,662	258	1484565,338	14,840341		0,85159659
742677	138271,707	387	604405,2935	18,618014		0,81381986
391538	47064,013	516	344473,987	12,020293		0,87979707
230999	10201,7855	645	220797,2145	4,4163765		0,95583624
147060	1408,29949	774	145651,7005	0,957636		0,99042364
98901	123,807074	903	98777,19293	0,1251828		0,99874817
69492	6,93150427	1032	69485,0685	0,0099745		0,99990025
50536	0,24713891	1161	50535,75286	0,000489		0,99999511
37926	0,0056116	1290	37925,99439	1,48E-05		0,99999985
28609	8,1145E-05	1419	28608,99992	2,836E-07		1
22675	7,4726E-07	1548	22675	3,296E-09		1
18188	4,3824E-09	1677	18188	2,409E-11		1
14781	1,6368E-11	1806	14781	1,107E-13		1
12018	3,893E-14	1935	12018	3,239E-16		1
9929	5,8969E-17	2064	9929	5,939E-19		1
8302	5,6884E-20	2193	8302	6,852E-22		1
7038	3,4945E-23	2322	7038	4,965E-25		1
6032	1,3671E-26	2451	6032	2,266E-28		1
5091	3,4063E-30	2580	5091	6,691E-32		1
4347	5,4047E-34	2709	4347	1,243E-35		1
3822	5,4613E-38	2838	3822	1,429E-39		1
3338	3,5144E-42	2967	3338	1,053E-43		1
2852	1,4402E-46	3096	2852	5,05E-48		1
2566	3,7589E-51	3225	2566	1,465E-52		1
2259	6,2475E-56	3354	2259	2,766E-57		1
2038	6,6129E-61	3483	2038	3,245E-62		1
1707	4,4576E-66	3612	1707	2,611E-67		1
1581	1,9136E-71	3741	1581	1,21E-72		1

·
·
·

5	0	31863	5	0		1
2	0	31992	2	0		1
4	0	32121	4	0		1
8	0	32250	8	0		1
2	0	32379	2	0		1
7	0	32508	7	0		1
8	0	32637	8	0		1
2	0	32766	2	0		1

Tabla 31. Histograma vs Distribución Gaussiana Errores relativos y Absolutos ROI Rascacielos Pekín

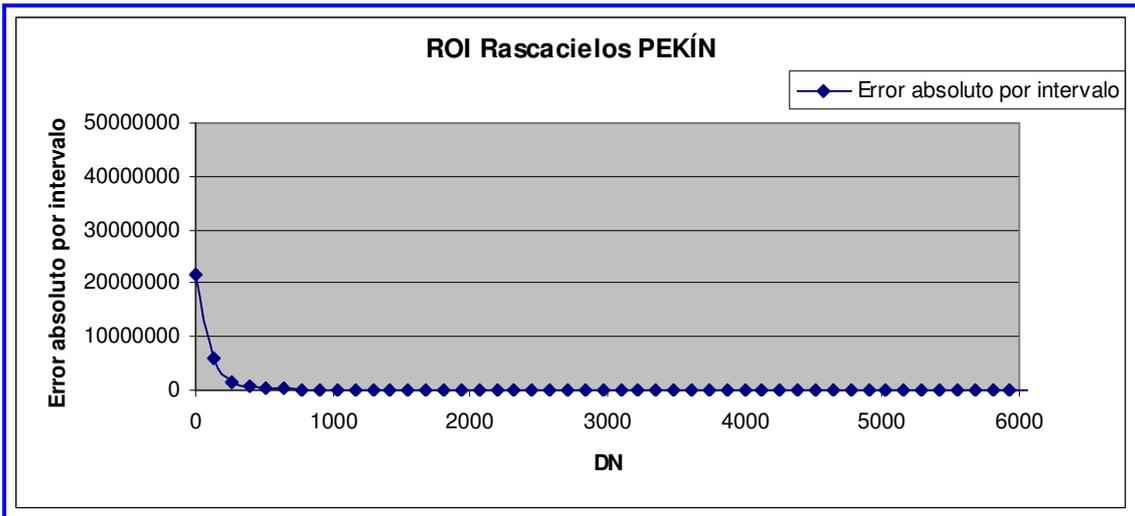


Figura 104. Error Absoluto por intervalo ROI Rascacielos Pekín

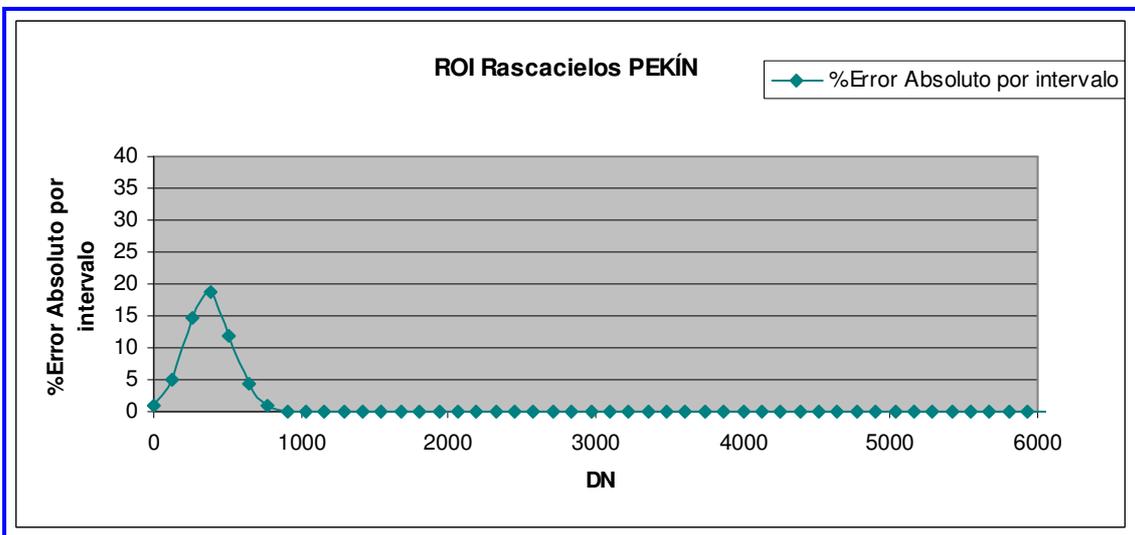


Figura 105. %Error Absoluto por intervalo ROI Rascacielos Pekín

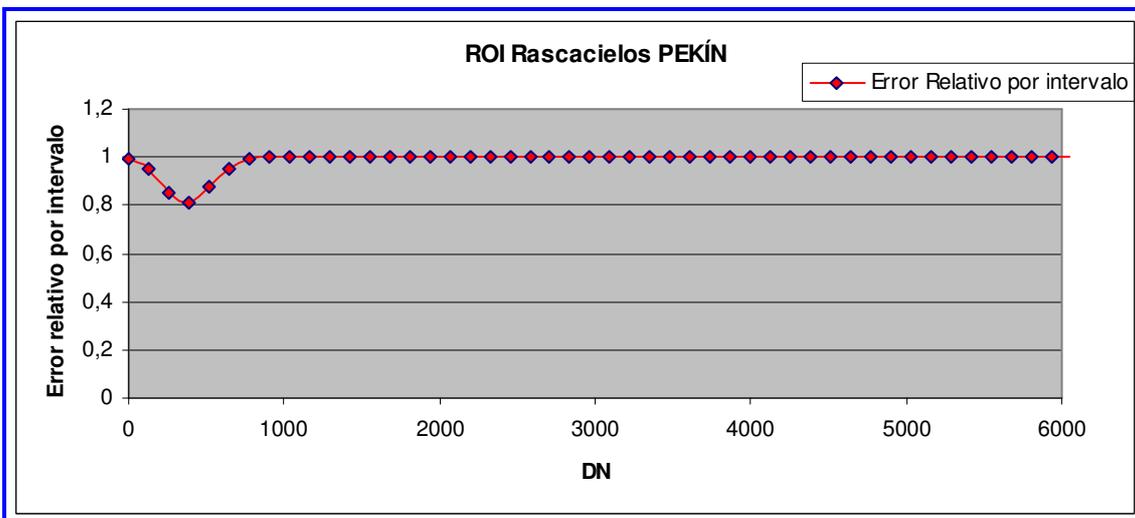


Figura 106. Error relativo por intervalo ROI Rascacielos Pekín

6 CONCLUSIONES

Como resultado de la clasificación, utilizando la distribución Gamma no se lograron resultados aceptables, que como ya comentamos anteriormente, los problemas con el uso de esta distribución, son algo que ya vienen de lejos en el tiempo (MB Wilk, R Gnanadesikan, MJ Huyett, 1962)

Usando la distribución Gaussiana, para que se ajustara a los valores obtenidos con los histogramas, los errores absolutos obtenidos para cada una de las ROI fueron los siguientes: Shangai Media (88%), Shangai Baja (80%), Shangai Alta (134%), Rascacielos Shangai (229%), Shangai Agua (76%), Pekín Medio-Baja (38%), Pekín Vegetación (54%), Pekín Medio-Alta (63%), Rascacielos Pekín (57%).

Los resultados obtenidos no son nada aceptables para la clasificación, esto puede deberse entre otras cosas a que las dos fotos (la de Radar y Google Earth), no fueron sacadas en el mismo momento, sino con una distancia de algunos meses. Este hecho es muy relevante; de hecho las ciudades chinas, en particular en nuestro caso para las ciudades de Shangai y Pekín, están atravesando una fuerte desarrollo urbanístico en altura. Se puede notar como son visibles muchos solares urbanísticos en construcción; es probable que entre el momento en el cual se sacó la imagen SAR y la de G.E, estos solares hayan tenido un gran desarrollo.



Figura 107. Shangai: algunos solares

Obtenemos mejores resultados para el caso de Pekín que para el de Shangai. Esto puede deberse al hecho de que como comentábamos antes, las dos fotos (radar y Google Earth), no fueron sacadas en el mismo momento, sino con unos meses de diferencia, siendo para el caso de Shangai más grande esta diferencia que para el caso de Pekín. También puede estar relacionado el hecho de que Shangai ha experimentado un mayor crecimiento y evolución que Shangai en poco tiempo y eso lo vemos reflejado en los errores cometidos al realizar la clasificación.

En el caso de Pekín, como resulta lógico, el agua es una de las zonas que recibe una mejor clasificación, con un menor error al resultar más fácilmente distinguible a simple vista.

6.1 LÍNEAS FUTURAS

El estudio realizado, que trata sobre la detección de zonas urbanas en imágenes de satélite radar (SAR), cuyo uso sería finalmente para diseñar mapas, es un trocito de un trabajo muy largo de evaluación de vulnerabilidad de las estructuras a los terremotos.

Como líneas de investigación futuras dentro de este ámbito, pueden citarse la cartografía de los riesgos de erosión, el análisis geomorfológico, las prospecciones geomineras o los estudios de radiación a nivel de la superficie terrestre (Dell'Acqua F, Lisini G, Gamba P, 2009). El radar, a su vez aporta nuevos procedimientos que permiten la caracterización de la rugosidad y de la humedad de la superficie y la interferometría está posibilitando el levantamiento preciso de modelos digitales de elevación a partir de dos observaciones de satélites SAR (radar de apertura sintética) en tándem.

También ha despertado un gran interés su uso en la cartografía y ordenación del territorio, pudiendo marcar calles y carreteras fácilmente (Fabio Dell'Acqua, Paolo Gamba, Luca Odasso, 2008). La producción cartográfica a partir de imágenes espaciales es cada vez más demandada, pero también está resultando de gran utilidad la utilización de imágenes de alta resolución espacial para la actualización rápida de la cartografía topográfica de escala 1:50.000. En el ámbito del análisis territorial, en ocasiones, un instrumento útil para definir la situación de partida previa a la planificación y, dentro ya de la fase de planificación, contribuye al seguimiento de la política de ordenación.

En nuestro estudio hemos realizado la clasificación de las imágenes desde un punto de vista manual, utilizando ENVI pero basándonos en una inspección visual de las imágenes de Google Earth para realizar dicha clasificación, marcando las ROI de forma manual. Esto también se podría haber realizado utilizando algoritmos de clasificación automática, tales como Máxima Verosimilitud o Mínima distancia de la media (H. Leon Harter and Albert H. Moore Technometrics, 1965), proponiendo esto como línea de investigación futura.

También podríamos proponer realizar la clasificación mediante el uso de **mapas de textura**. Es importante destacar que, mientras en la teledetección óptica es fiable operar sobre cada uno de los píxel de forma individual, en la teledetección radar resulta poco

fiable debido al ruido *speckle*, siendo el análisis mediante texturas mucho más fiable. Luego, en una imagen de radar, la información no se busca en los píxeles individuales (porque, normalmente ocultan ruido) sino en un entorno local del propio píxel. Para esto, la clasificación se realiza sobre los mapas de textura.

Los filtros de textura proporcionan valores que dependen de la configuración local de los DN (*digital number*, contenido del píxel -intensidad de la señal-), y en particular de sus estadísticas locales. Tales estadísticas son calculadas sobre los píxeles contenidos en una ventana de dimensiones fijas, en torno al píxel que se está considerando. El resultado de tal filtro recibe el nombre de mapa de textura.

Otro punto a reseñar podría ser el uso de **matrices de confusión** en el estudio de nuestros resultados (Dell'Acqua F, Gamba P, 2001). Una matriz de confusión es una herramienta de visualización que se emplea en aprendizaje supervisado. Cada columna de la matriz representa el número de predicciones de cada clase, mientras que cada fila representa a las instancias en la clase real. Uno de los beneficios de las matrices de confusión es que facilitan ver si el sistema está confundiendo dos clases. En el estudio llevado a cabo, una vez completa la clasificación se podría proceder a la evaluación de los resultados creando esta matriz de errores, llamada más comúnmente como *matriz de confusión* tal y como se ha comentado, con la cual se pueden evaluar diversas medidas de la bondad del clasificador. Sobre la diagonal principal de la matriz se encuentran los elementos correctamente clasificados, mientras que los elementos fuera de la diagonal representan los errores en la clasificación:

- **De omisión** (*omission error*), cuando el píxel que pertenece a la clase considerada no ha sido incluido.
- **De inclusión** (*commission error*) cuando un píxel es asignado a la clase considerada pero no pertenece a ella.

APÉNDICE

Apéndice A

Código en lenguaje IDL corrispondente a la programación para cada una de las ROI de la imagen radar de Pekín, creadas con el objetivo de obtener los valores estadísticos que nos den los histogramas correspondientes.

```
path= "C:\Documents and Settings\Usuario\Escritorio\datos salvados\proyecto\"
nome_file=path+"warp_reducida grattaciel"; Definisce il nome del file da aprire
OPENR, lun,nome_file, /GET_LUN ;Apre il file nome_file in lettura
image1=BYTARR(18000,24000);Definisce una matrice byte di dimensioni pari a
;quelle dell'immagine da visualizzre
READU, lun, image1; Legge il file aperto e lo carica nella matrice image1
FREE_LUN, lun ;libera l'unità logica
HELP, image1
PRINT, MAX(image1), MIN(image1); Stampa il massimo e il minimo di mat
WINDOW, 0, xsize=18000, ysize=24000; Apre una finestra di visualizzazione di dimensioni ;uguali a quelle
dell'immagine
TV, image1; Carica la matrice nella finestra
path= "C:\Documents and Settings\Usuario\Escritorio\datos salvados\proyecto\ultimo.pro\"
nome_file2=path+"IMAGE_original_BEIJING";Definisce il nome del file da aprire
OPENR, lun, nome_file2, /GET_LUN ;Apre il file nome_file in lettura
image2=BYTARR(18000,24000);Definisce una matrice byte di dimensioni pari a
;quelle dell'immagine da visualizzre
READU, lun, image2 ;Legge il file aperto e lo carica nella matrice
;image2
FREE_LUN, lun ;libera l'unità logica
HELP, image2
PRINT, MAX(image2), MIN(image2)
WINDOW, 0, xsize=18000, ysize=24000
TV, image2
path= "C:\Documents and Settings\Usuario\Escritorio\datos salvados\proyecto\ultimo.pro\"
nome_file3=path+"warp_reducida medio-bassa";Definisce il nome del file da aprire
OPENR, lun, nome_file3, /GET_LUN ;Apre il file nome_file in lettura
image3=BYTARR(18000,24000);Definisce una matrice byte di dimensioni pari a
;quelle dell'immagine da visualizzre
READU, lun, image3 ;Legge il file aperto e lo carica nella matrice
;image3
FREE_LUN, lun ;libera l'unità logica
HELP, image3
PRINT, MAX(image3), MIN(image3)
WINDOW, 0, xsize=18000, ysize=24000
TV, image3
path= "C:\Documents and Settings\Usuario\Escritorio\datos salvados\proyecto\ultimo.pro\"
nome_file4=path+"warp_reducida medio-alta";Definisce il nome del file da aprire
OPENR, lun, nome_file4, /GET_LUN ;Apre il file nome_file in lettura
image4=BYTARR(18000,24000);Definisce una matrice byte di dimensioni pari a
;quelle dell'immagine da visualizzre

READU, lun, image4 ;Legge il file aperto e lo carica nella matrice
;image2
FREE_LUN, lun ;libera l'unità logica
HELP, image4
PRINT, MAX(image4), MIN(image4); Stampa il massimo e il minimo di mat
WINDOW, 0, xsize=18000, ysize=24000; Apre una finestra di visualizzazione di
;dimensioni uguali a quelle dell'immagine
TV, image4
path= "C:\Documents and Settings\Usuario\Escritorio\datos salvados\proyecto\ultimo.pro\"
```

```

nome_file5=path+"warp_reducida vegetazione" ;Definisce il nome del file da aprire
OPENR, lun, nome_file5, /GET_LUN ;Apre il file nome_file in lettura
image5=BYTARR(18000,24000) ;Definisce una matrice byte di dimensioni pari a
;quelle dell'immagine da visualizzre
READU, lun, image5 ;Legge il file aperto e lo carica nella matrice
;image2
FREE_LUN, lun ;libera l'unità logica
HELP, image5
PRINT, MAX(image5), MIN(image5)
WINDOW, 0, xsize=18000, ysize=24000
TV, image5

; recorrer la imagen reducida(grattacieli,medio-alta,medio-bassa,vegetazione)
;y en el momento en que encuentre un 1 debo de igualarla al pixel que ocupa en la
;imagen original. Después con esa matriz que he creado con los valores que eran iguales a
;a 1 en la imagen reducida y que he asignado el valor que tenían en la imagen original y el resto ceros
;la voy recorriendo y cuando encuentro valores que sean distintos de cero debo compararlos con un bucle for que he
;creado en el que va de 0 que es el minimo valor de los pixel de la imagen original hasta 32000 que es el maximo de
;la imagen original en pasos de 100. En el momento en el que valor de la imagen original que cojo sea menor de
;alguno de los del bucle for que tengo entonces le asigno la posición que ocupa justo ese valor que ya es mayor que
;con el que yo estoy comparando, y a continuación incrementare el contador de dicha posición que está ocupando
;dependiendo tambien de la clase en la que esté que podra ser que ese pixel(ese valor) sea de graciatteli,medio-
;basso,medio-alto o vegetazione...

FOR I=1, 18000 DO begin
FOR J=1, 24000 DO BEGIN
  npixel_image1=0
  if (image1 [I,J] = 1) THEN begin
    npixel_image1 = npixel_image1+1
    image1 [I,J] = image2 [I,J]
  endif else begin image1 [I,J] = 0
  endelse
  ENDFOR
ENDFOR

FOR I=1, 18000 DO begin
FOR J=1, 24000 DO BEGIN
  npixel_image3=0
  if (image3 [I,J] = 1) THEN begin
    npixel_image3 = npixel_image3+1
    image3 [I,J] = image2 [I,J]
  endif else begin image3 [I,J] = 0
  endelse
  ENDFOR
ENDFOR

FOR I=1, 18000 DO begin
FOR J=1, 24000 DO BEGIN
  npixel_image4=0
  if (image4 [I,J] = 1) THEN begin
    npixel_image4 = npixel_image4+1
    image4 [I,J] = image2 [I,J]
  endif else begin image4 [I,J] = 0
  endelse
  ENDFOR
ENDFOR

```

```

FOR I=1, 18000 DO begin
FOR J=1, 24000 DO BEGIN
npixel_image5=0
if (image5 [I,J] = 1) THEN begin
npixel_image5 = npixel_image5+1
image5 [I,J] = image2 [I,J]
endif else begin image5 [I,J] = 0
endif
endif
ENDFOR
ENDFOR

limites = intarr(3200)
for k=0, 3200 DO BEGIN
if (k=0) then begin limites[k]=0
endif else begin
limites[k]=k+100
endif
endif
ENDFOR
frec_grattaceli= Fltarr (3200)
frec_medioalta= Fltarr (3200)
frec_mediobassa= Fltarr (3200)
frec_vegetazione= Fltarr (3200)
contador_grattaceli = intarr (3200)
contador_medioalta = intarr (3200)
contador_mediobassa = intarr (3200)
contador_vegetazione = intarr (3200)
for J=1, 24000 do begin
for I=1, 18000 do begin
if (image1[I,J]) ne 0 then begin
while (image1[I,J] GT limites[k]) do begin
k=k+1
endif
endif
contador_grattaceli[k]=contador_grattaceli[k]+1
frec_grattaceli[k]=contador_grattaceli[k]/npixel_image1
I=I+1
endif
endif
ENDFOR
J=J+1
ENDFOR

for J=1, 24000 do begin
for I=1, 18000 do begin
if (image3[I,J]) ne 0 then begin
while (image3[I,J] GT limites[k]) do begin
k=k+1
endif
endif
contador_medioalta[k]=contador_medioalta[k]+1
frec_medioalta[k]=contador_medioalta[k]/npixel_image3
I=I+1
endif
endif
ENDFOR
J=J+1
ENDFOR

for J=1, 24000 do begin
for I=1, 18000 do begin
if (image4[I,J]) ne 0 then begin
while (image4[I,J] GT limites[k]) do begin
k=k+1
endif
endif
contador_mediobassa[k]=contador_mediobassa[k]+1
frec_mediobassa[k]=contador_mediobassa[k]/npixel_image4
I=I+1
endif
endif
ENDFOR
J=J+1
ENDFOR

```

```

for J=1, 24000 do begin
for I=1, 18000 do begin
if (image5[I,J]) ne 0 then begin
while (image5[I,J] GT limites[k]) do begin
k=k+1
endwhile
contador_vegetazione[k]=contador_vegetazione[k]+1
frec_vegetazione[k]=contador_vegetazione[k]/npixel_image5
I=I+1
endif
ENDFOR
J=J+1
ENDFOR

media_grattacielì = mean(contador_grattacielì)
media_medioalta = mean(contador_medioalta)
media_mediobassa = mean(contador_mediobassa)
media_vegetazione = mean(contador_vegetazione)
varianza_grattacielì = variance(contador_grattacielì)
varianza_medioalta = variance(contador_medioalta)
varianza_mediobassa = variance(contador_mediobassa)
varianza_vegetazione = variance(contador_vegetazione)
alfa_grattacielì = media_grattacielì*media_grattacielì/varianza_grattacielì
alfa_medioalta = media_medioalta*media_medioalta/varianza_medioalta
alfa_mediobassa = media_mediobassa*media_mediobassa/varianza_mediobassa
alfa_vegetazione = media_vegetazione*media_vegetazione/varianza_vegetazione
teta_grattacielì = varianza_grattacielì/media_grattacielì
teta_medioalta = varianza_medioalta/media_medioalta
teta_mediobassa = varianza_mediobassa/media_mediobassa
teta_vegetazione = varianza_vegetazione/media_vegetazione

end

```

NOTA:

Descrizione operatori

EQ Equal to

NE Not equal to

GE Greater than or equal to

GT Greater than

LE Less than or equal to

LT Less than

AND Operatore logico “**E**”

NOT Operatore logico di negazione

OR Operatore logico “**O**”

XOR Operatore logico “**OR esclusivo**”

Apéndice B

Distribución Gamma en Excel

Sintaxis

DISTR.GAMMA(x; alfa; beta; acumulado)

X es el valor al que desea evaluar la distribución.

Alfa es un parámetro de la distribución.

Beta es un parámetro de la distribución. Si $\beta = 1$, DISTR.GAMMA devuelve la probabilidad de una variable aleatoria siguiendo una distribución gamma estándar.

Acum es un valor lógico que determina la forma de la función. Si el argumento acum es VERDADERO, DISTR.GAMMA devuelve la función de distribución acumulativa; si es FALSO, devuelve la función de densidad de probabilidad.

Observaciones

- Si los argumentos x, alfa o beta no son numéricos, DISTR.GAMMA devuelve el valor de error #¡VALOR!
- Si el argumento $x < 0$, DISTR.GAMMA devuelve el valor de error #¡NUM!
- Si el argumento $\alpha \leq 0$ o si el argumento $\beta \leq 0$, DISTR.GAMMA devuelve el valor de error #¡NUM!
- La ecuación para la función de densidad de probabilidad gamma es:

La función de densidad de probabilidad gamma estándar es:

- Cuando el argumento $\alpha = 1$, DISTR.GAMMA devuelve la distribución exponencial con:
- Para un entero positivo n , cuando los argumentos $\alpha = n/2$, $\beta = 2$ y $\text{acumulado} = \text{VERDADERO}$, la función DISTR.GAMMA devuelve $(1 - \text{DISTR.CHI}(x))$ con n grados de libertad.
- Cuando α es un entero positivo, DISTR.GAMMA también se conoce como la distribución de Erlang.

Apéndice C

Distribución Normal o de Gauss

Esta distribución es frecuentemente utilizada en las aplicaciones estadísticas. Su propio nombre indica su extendida utilización, justificada por la frecuencia o normalidad con la que ciertos fenómenos tienden a parecerse en su comportamiento a esta distribución.

Muchas variables aleatorias continuas presentan una función de densidad cuya gráfica tiene forma de campana.

En otras ocasiones, al considerar distribuciones binomiales, tipo $B(n,p)$, para un mismo valor de p y valores de n cada vez mayores, se ve que sus polígonos de frecuencias se aproximan a una curva en "forma de campana".

En resumen, la importancia de la distribución normal se debe principalmente a que hay muchas variables asociadas a fenómenos naturales que siguen el modelo de la normal:

- Caracteres morfológicos de individuos (personas, animales, plantas,...) de una especie, p.ejm. tallas, pesos, envergaduras, diámetros, perímetros,...
- Caracteres fisiológicos, por ejemplo: efecto de una misma dosis de un fármaco, de una misma cantidad de abono.
- Caracteres sociológicos, por ejemplo: consumo de cierto producto por un mismo grupo de individuos, puntuaciones de examen.
- Caracteres psicológicos, por ejemplo: cociente intelectual, grado de adaptación a un medio,...
- Errores cometidos al medir ciertas magnitudes.
- Valores estadísticos muestrales, por ejemplo : la media.
- Otras distribuciones como la binomial o la de Poisson son aproximaciones normales, ...

Y en general cualquier característica que se obtenga como suma de muchos factores.

Función de densidad

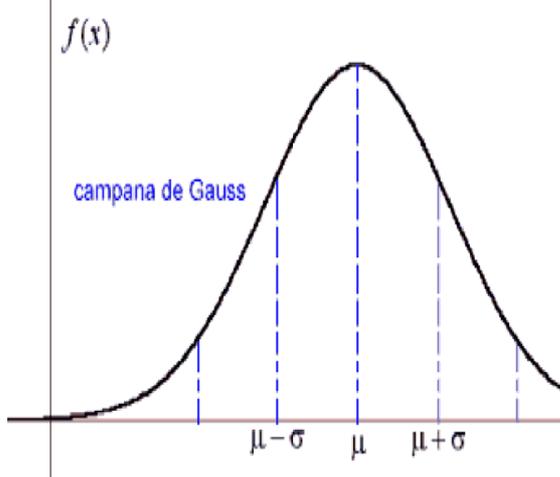
Empleando cálculos bastante laboriosos, puede demostrarse que el modelo de la función de densidad que corresponde a tales distribuciones viene dado por la fórmula

Función de Densidad

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

μ media	$\pi = 3,1415\dots$
σ desv. típica	$e = 2,7182\dots$
σ^2 varianza	x abscisa

Representación gráfica de esta función de densidad



Dominió:	$Dom f = \mathbb{R}$
Máximo:	$\left(\mu, \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\right)$
P. inflexión:	en $x = \mu + \sigma$ y $x = \mu - \sigma$
Asíntotas:	el eje OX es una asíntota horizontal
Simetrías:	respecto a la recta $x = \mu$
Monotonía:	creciente $(-\infty, \mu)$, decreciente $(\mu, +\infty)$
Signo:	es siempre positiva
P. Corte:	$OY \rightarrow \left(0, \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\mu^2}{2\sigma^2}}\right)$

La distribución normal queda definida por dos parámetros, su media y su desviación típica y la representamos así:

$N(\mu, \sigma)$

Para cada valor de μ y σ tendremos una función de densidad distinta, por tanto la expresión $N(\mu, \sigma)$ representa una familia de distribuciones normales.

Función de distribución

- Puede tomar cualquier valor $(-\infty, +\infty)$
- Son más probables los valores cercanos a uno central que llamamos media μ
- Conforme nos separamos de ese valor μ , la probabilidad va decreciendo de igual forma a derecha e izquierda (es simétrica).
- Conforme nos separamos de ese valor μ , la probabilidad va decreciendo de forma más o menos rápida dependiendo de un parámetro σ , que es la desviación típica.

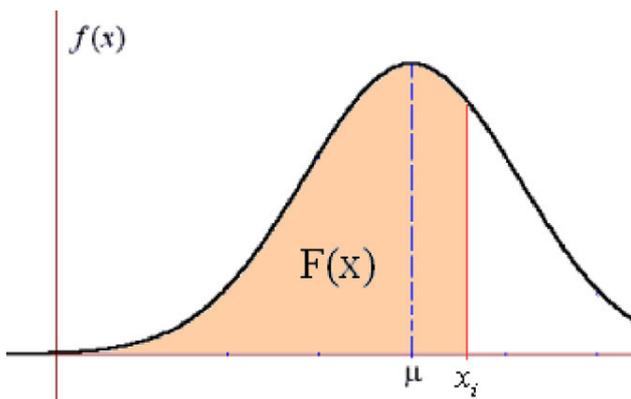
Función de Distribución

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx$$

$-\infty < x < +\infty$

$$F(x) = P(X \leq x)$$

$F(x)$ es el área sombreada de esta gráfica



GLOSARIO

Pixel → abreviatura de *picture element*, cada uno de los elementos que componen una imagen dispuestos matricialmente en filas y columnas. Una imagen consiste de un arreglo de píxeles (*picture elements*) o celdas, las cuales están ordenadas en filas y columnas. Cada pixel tiene un número digital (DN, por las siglas en inglés), que representa la intensidad de la señal recibida o reflejada por un área dada de la superficie de la tierra. El tamaño de la unidad del terreno correspondiente a un píxel se denomina resolución espacial. El DN es producido en un rango de valores característico del tipo de sistema de sensores utilizado, los valores radiométricos. Una imagen puede consistir de muchas capas o bandas. Cada banda es creada por el sensor que colecta energía en longitudes de onda específicas del espectro electromagnético.

Radar → abreviatura de *radio detection and ranging*, sistema que utiliza pulsos de energía electromagnética de longitud de onda comprendida entre 1mm y 1m producida artificialmente, para localizar objetos mediante la detección de la radiación

Imagen radar (SAR) → *synthetic aperture radar*, radar de apertura sintética. Procedimiento de grabación de los ecos procedentes de una superficie iluminada con haces radar y su composición posterior en Tierra, añadiendo cambios de fase de modo que simule una antena de mayores dimensiones, cuando realmente lo que se ha hecho es desplazar un elemento de antena más pequeño a lo largo de una trayectoria.

BIBLIOGRAFÍA

- Barrett, E.C. & Curtis, L.F. (1995). *Introduction to Environmental Remote Sensing* . Chapman & Hall. Londres.
- Carré, F. (1971). *Lectura y Explotación de las Fotografías Aéreas*. Paraninfo. Madrid.
- Dell'Acqua F, Gamba P (October 2001) Detection of urban structures in SAR images by robust fuzzy clustering algorithms: the example of street tracking. *IEEE Trans Geosci Remote Sens* 39(10):2287–2297.
- Dell'Acqua F, Lisini G, Gamba P (2009) Experiences in optical and SAR imagery analysis for damage assessment in the Wuhan, May 2008 earthquake. In: *Proceedings of IGARSS 2009, Cape Town, South Africa, 13–17 July 2009*.
- Dell'Acqua, Paolo Gamba, Luca Odasso (2008). Segment-based urban block outlining in High-Resolution SAR images.
- E. Chuvieco. *Fundamentos de teledetección espacial*. Ediciones Rialp, Madrid, 1996.
- Elachi, C. (1987) . *Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing* . John Wiley & Sons. Nueva York.
- Graham, R. & Read, R.E. (1986). *Manual de Fotografía Aérea*. Omega. Barcelona.
- Hooper A, Zebker H, Segall P, Kampes B (2004) A new method for measuring deformation on volcanoes and other natural terrains using InSAR persistent scatterers. *Geophys Res Lett* 31:L23611, doi:10.1029/2004GL021737.
- <http://coello.ujaen.es/asignaturas/teledeteccion/lateledeteccion.htm>
- <http://mathworld.wolfram.com/GammaDistribution.html>
- <http://www.bioestadistica.uma.es/libro/node79.htm>
- Inferences Concerning the Mean of the Gamma Distribution; John V. Grice and Lee J. Bain; *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 75, No. 372 (Dec., 1980), pp. 929-933.
- J. A. Richards. *Remote sensing digital image analysis : an introduction* / John A. Richards. Springer-Verlag, Berlin ; New York ;, 2nd rev. and enlarged ed. edition, 1993.

- Liam E. Gumley, University of Wisconsin-Madison (2002) Practical IDL Programming.
- López-Cuervo, S. (1980). *Fotogrametría*. Paraninfo. Madrid.
- Maximum-Likelihood Estimation of the Parameters of Gamma and Weibull Populations from Complete and from Censored Samples H. Leon Harter and Albert H. Moore *Technometrics*, Vol. 7, No. 4 (Nov., 1965), pp. 639-643.
- MB Wilk, R Gnanadesikan, MJ Huyett: Estimation of parameters of the gamma distribution using order statistics; *Biometrika* 1962 49(3-4):525-545; doi:10.1093/biomet/49.3-4.525; © 1962 by Biometrika Trust.
- Pinilla, C. (1995). *Elementos de Teledetección*. Ra-Ma. Madrid.
- Radar Remote Sensing of Urban Areas (Ed) U. Soergel 2010, XVI, 277p. 240 illus., 220 illus. in color., Hardcover.
- Rao, P.K. et al. (1990). *Weather Satellites: Systems, Data and Environmental Applications*. American Meteorological Society. Norwood.
- Strozzi T, Tosi L, Teatini P, Wegmüller U (2008) Monitoring land subsidence in the Venice lagoon with TerraSAR-X. In: 3rd TerraSAR-X science team meeting, Oberpfaffenhofen, Germany, 25–26 November 2008.
- User manual Envi, CEE 6150 Remote Sensing Fundamentals; Lab #1: Introduction to ENVI.
- Werninghaus R, Balzer W, Buckreuss St, Mittermayer J, Mühlbauer P (2004) The TerraSAR-X mission. EUSAR, Ulm, Germany.