

Uso de Imágenes Satelitales para la Detección de Daños Producidos por el Sismo de Atico, Perú, 2001

Miguel Estrada, PhD. Ing.

RESUMEN

Para la evaluación de daños después de un desastre natural se pueden utilizar varios métodos. Como resultado del progreso y avance en la tecnología satelital e información que puede ser obtenida en relativamente poco tiempo por satélites civiles, la información adquirida desde el espacio está ganando aceptación para la detección de daños. En este estudio se evalúa la capacidad de detectar los niveles de daños producidos por el sismo de Atico, Perú del 2001 usando información teledetectada. Las imágenes utilizadas fueron tomadas por el satélite Landsat 7, el cual lleva a bordo el sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). Las técnicas de detección de daños están basadas en la comparación de dos juegos de imágenes, tomados antes e inmediatamente después de la ocurrencia del evento. El método, de correlación de imágenes mostró una clara tendencia en los valores de los píxeles de la imagen procesada, dando bajos valores de correlación para sectores con gran daño y altos valores de correlación para sectores con pocos daños.

INTRODUCCIÓN

Después de la ocurrencia de un desastre natural es muy importante conocer la extensión y distribución del daño. Debido al colapso o al alto nivel de daños en la infraestructura de una ciudad, tales como vías de comunicación y caminos, la información sobre los daños en lugares remotos puede tomar un largo periodo tiempo en llegar a los niveles de toma de decisiones y como consecuencia la respuesta ante la emergencia y los planes de recuperación se verían retrasados.

En este artículo el uso de imágenes remotamente adquiridas por el satélite Landsat 7/ETM+ es evaluado para determinar los niveles de daños producidos por el sismo de Atico del año 2001. La valoración del uso de las imágenes satelitales es llevada a cabo mediante el análisis de correlación de imágenes.

El área de estudio es la Ciudad de Moquegua, localizada en el sur del Perú (1 144 km al sur de Lima, la ciudad capital, ver Figura 1). Moquegua fue una de las ciudades que fue afectada fuertemente por el terremoto, así como las ciudades de Arequipa, Tacna y la ciudad costera de Camaná, entre otras. Como consecuencia del terremoto el Departamento de Moquegua tuvo un saldo de 25 fallecidos, 341 heridos, 53 448 personas afectadas, 5 505 casas colapsadas y 5 469 casas dañadas (INDECI, 2001.)

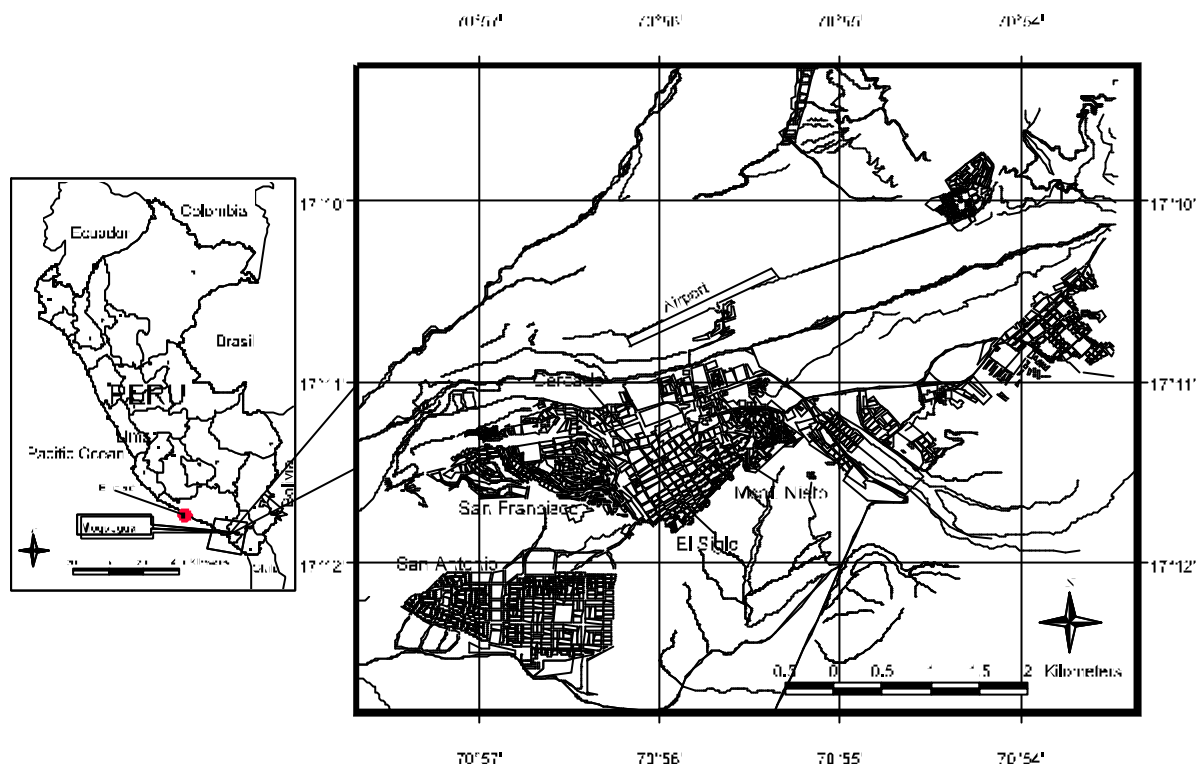


Figura 1. Mapa del área de estudio. El mapa principal muestra la Ciudad de Moquegua.

Generalmente, las técnicas de detección de cambios para imágenes remotamente adquiridas están basadas en la aplicación de algoritmos especializados a dos imágenes satelitales de la misma área tomadas en diferentes fechas. El algoritmo examina cada píxel en las escenas para determinar si su valor digital ha cambiado considerablemente. Las imágenes tomadas por el satélite Landsat 7/ETM+ tienen una resolución espacial o un campo instantáneo de visualización de terreno (GIFOV) de 30 metros para las bandas visibles e infrarroja cercana, lo cual no permite una distinción individual de las edificaciones, a menos que éstas tengan dimensiones considerablemente mayores que el GIFOV. Sin embargo, es posible detectar objetos que son considerablemente más pequeños que el GIFOV si el contraste con el fondo que lo rodea es suficientemente alto (Schowengerdt, 1997). De esa manera, si el colapso de edificaciones debido a un terremoto causa el esparcimiento de escombros, este esparcimiento puede afectar la reflectancia del área adyacente. Entonces los cambios en los valores digitales de los píxeles pueden ocurrir y así poder detectarlos.

El juego de imágenes pre-evento fue adquirido el 26 de mayo del 2001, 28 días antes de la ocurrencia del desastre, mientras que el juego de imágenes post-evento fue tomado el 27 de junio del 2001 (Figura 2), esto es cuatro días después del evento (ver Figura 2). Un plano digital de la Ciudad de Moquegua a una escala de 1:25 000 también estaba disponible para el estudio (ver Figura 1).

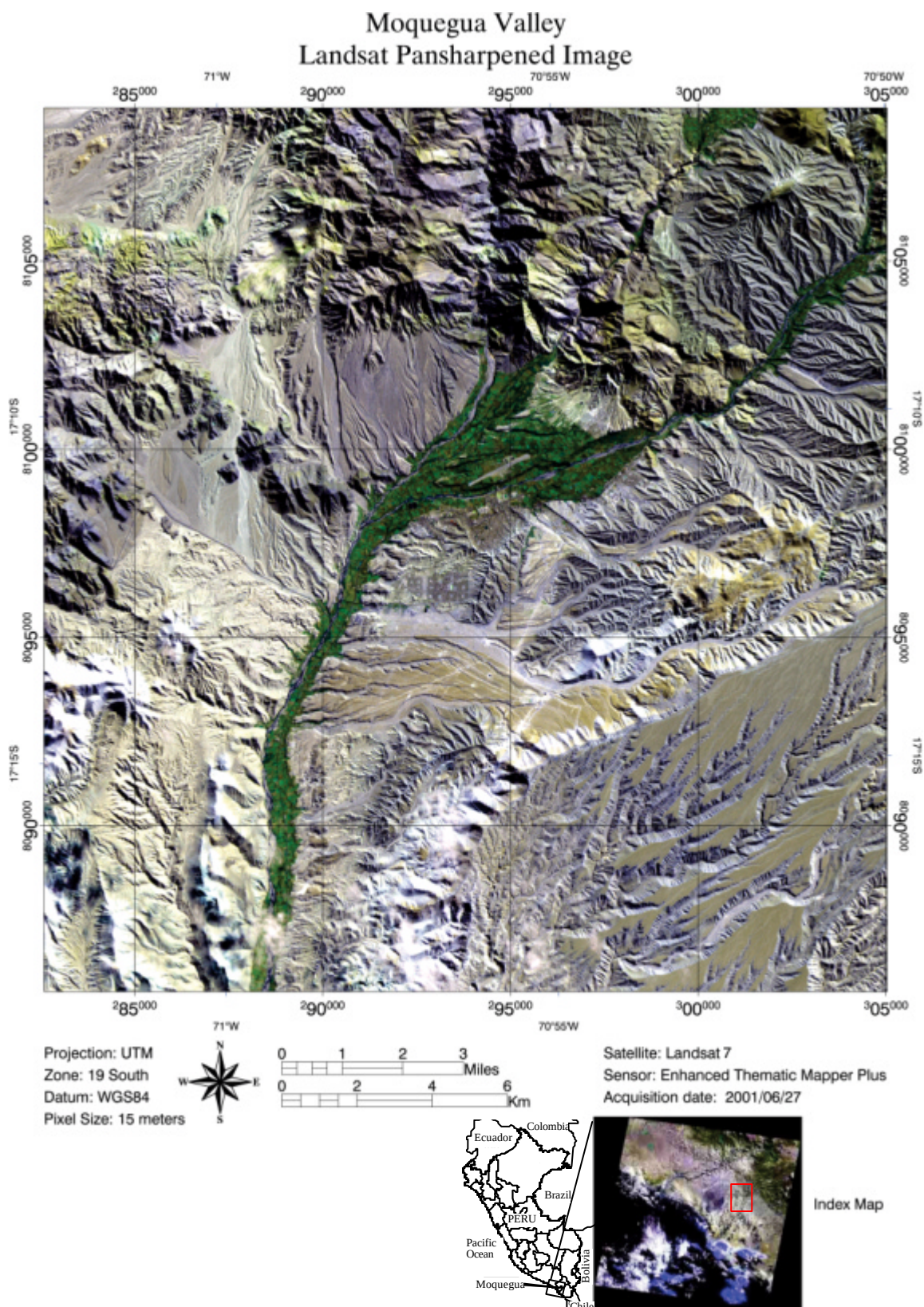


Figure 2: Imagen mejorada del Valle de Moquegua. La Ciudad de Moquegua está ubicada en el centro de la imagen. El mapa índice muestra la imagen satelital completa. Esta imagen mejorada ha sido obtenida al mezclar las bandas 1, 2 y 3 (de 30 m de resolución) con la banda pancromática (15 m de resolución).

PRE-PROCESO DE LAS IMÁGENES SATELITALES

Corrección Atmosférica

La atmósfera afecta la radiación medida en un punto de dos maneras: primero, atenúa la energía que ilumina al terreno y actúa como reflector, y segundo, redireccionando parte de la energía electromagnética hacia el campo de visualización del sensor, esto es llamado radiación de trayectoria. Así, la señal compuesta observada en cualquier punto puede ser expresada por: (Lillesand, 2000)

$$L_{tot} = \frac{rET}{p} + L_p$$

Donde:

L_{tot} = radiación total medida por el sensor

r = reflectancia del objeto

E = irradiación sobre objeto

T = transmisión de la atmósfera

L_p = radiación de trayectoria

L_p representa la radiación de trayectoria que introduce una especie de neblina en la imagen y reduce el contraste. En el caso de imágenes del satélite Landsat, la banda 1 generalmente tiene un alto valor del componente L_p , más alto que las bandas 2 y 3. Para las bandas infrarrojas la radiación de trayectoria tiene efectos menores.

El método de regresión (Mather, 1999) es un método simple que estima la radiación de trayectoria y tiene la ventaja de usar solamente la información contenida en la imagen. La Figura 3 muestra el diagrama de dispersión de la banda 4 vs. la banda 1.

Tabla 2. Corrección por radiación de trayectoria (PRC) y coeficiente de correlación (r) para las bandas visibles pre- y post-evento.

Banda	Pre-evento		Post-Evento	
	PRC	r	PRC	r
Banda 1	22.94	0.906	21.75	0.902
Banda 2	8.98	0.935	9.45	0.940
Banda 3	2.71	0.960	2.73	0.957

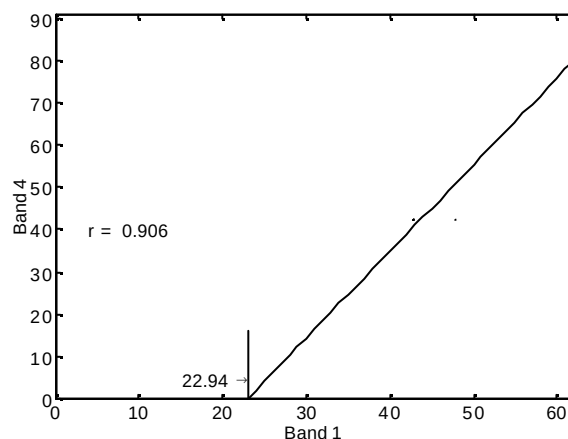


Figura 3. Método de regresión para la estimación de la radiación de trayectoria de la atmósfera. Diagrama de dispersión de la Banda 4 vs. Banda 1.

Corrección Geográfica

Para llevar a cabo la comparación entre las imágenes antes y después del evento, se requiere que éstas estén registradas en forma muy precisa. Para tener las imágenes satelitales geográficamente registradas se emplearon mapas en un sistema de información geográfica. La corrección geográfica de las imágenes fue realizada mediante un registro mapa-imagen, en el cual los puntos de control son interactivamente seleccionados, tanto en la imagen como en el mapa digital. Estos puntos de control deben estar bien distribuidos sobre el mapa para evitar distorsiones en el proceso de rectificación. El número de puntos de control identificados fue de 25

consiguiendo un error medio cuadrático de 0,32 píxeles. Finalmente, para el registro de las imágenes se usó una ecuación polinomial de segundo orden para la transformación y rotación.

Integración de las Imágenes Satelitales e Información en SIG

Para identificar los diferentes sectores de la Ciudad de Moquegua, un mapa digital fue integrado a las imágenes satelitales. El mapa digital, inicialmente obtenido en formato CAD, a nivel de manzana, fue convertido a formato SIG y las manzanas fueron agrupadas en sectores para realizar el análisis, y así resolver el problema de resolución espacial. Los sectores con niveles de daños más altos fueron el Cercado y San Francisco, seguidos de Mariscal Nieto, El Siglo y San Antonio. Para desarrollar un método de detección de daños, en la etapa de investigación, es necesario contar con información real para calibrar los resultados y así proponer un modelo confiable. Una vez que la metodología es completamente desarrollada, se espera que el reconocimiento de los diferentes niveles de daño sea obtenido en forma automática. La Figura 4 muestra la integración de un mapa SIG con la imagen remotamente adquirida.

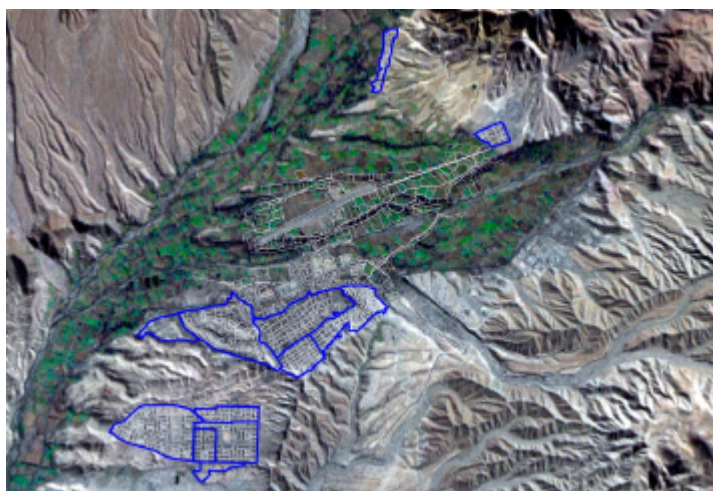


Figura 4. Para identificar los diferentes sectores de la Ciudad de Moquegua, información en un SIG es incorporada a la información satelital.

ANÁLISIS CORRELACIÓN DE LAS IMÁGENES Y RESULTADOS

El análisis de correlación es una herramienta estadística que puede ser usada para describir el grado con el cual dos variables están “correlacionadas” entre ellas. Es muy común usar un análisis de correlación para automatizar la selección de puntos de control para el método de registro de image-a-imagen (Japan Association on Remote Sensing, 1996). Sin embargo, el análisis de correlación también puede ser usado para medir el grado de relación entre dos variables. La correlación entre dos imágenes es definida como:

$$r_{mn} = \frac{\left(\sum_{j=1}^{ws} \sum_{i=1}^{ws} a_{ij} b_{ij} \right)^2}{\sum_{j=1}^{ws} \sum_{i=1}^{ws} a_{ij}^2 \sum_{j=1}^{ws} \sum_{i=1}^{ws} b_{ij}^2},$$

donde:

r_{mn} = coeficiente de correlación de la posición (m, n) de la ventana móvil,

ws = tamaño de la ventana para el cálculo del coeficiente de correlación,

a_{ij} = número digital del píxel (i, j) de la imagen post-evento,

b_{ij} = número digital del píxel (i, j) de la imagen pre-evento,

A partir de los índices de correlación entre las imágenes pre- y post-evento, nuevas imágenes son generadas llamadas imágenes de correlación. Para conseguir este objetivo una ventana móvil cuadrada de tamaño ws (siendo ws un número impar) es movida píxel por píxel y en cada posición (m, n) los índices de correlación son calculados, de esa manera se genera el valor del píxel correspondiente, tal como se esquematiza

en la Figura 5. Los índices de correlación fueron calculados para cada una de las bandas visibles de las imágenes, es decir para la banda roja, verde y azul. Para la ventana móvil se tomaron diferentes tamaños para tener una mejor claridad en los resultados, los tamaños fueron: 3x3, 5x5 y 7x7.

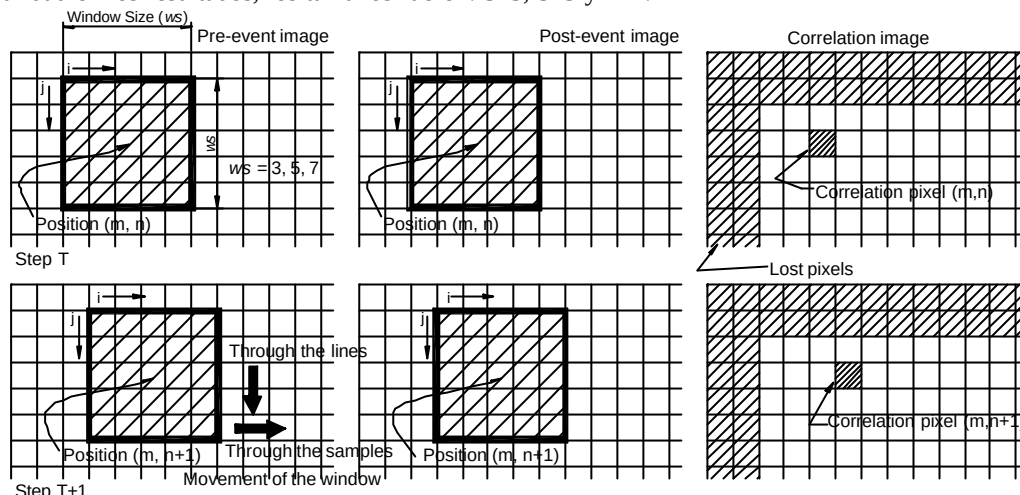


Figura 5. Una ventana cuadrada es movida secuencialmente píxel-por-píxel hacia la derecha hasta la última posible posición, calculando en cada paso los valores de correlación y correlación-cruzada, luego se mueve un píxel hacia abajo y llevada hacia la izquierda para empezar nuevamente el proceso, hasta cubrir toda la imagen.

Se espera que los sectores con altos niveles de daño presenten píxeles de baja correlación en las nuevas imágenes generadas, esto debido al cambio de reflectancia, en cambio, en sectores donde no se produjeron daños o fueron menores los valores de correlación deben estar cercanos a 1. Después que las imágenes de correlación fueron obtenidas, el valor promedio y la desviación estándar de los valores de correlación fueron calculados para cada sector, tal como se muestra en la Figura 6, para un tamaño de ventana de 5x5. Como se puede observar existe una clara tendencia en los valores de correlación. Como era esperado, valores bajos de correlación indican áreas con un alto nivel de daño mientras que valores cercanos a la unidad pertenecen a zonas con daños menores.

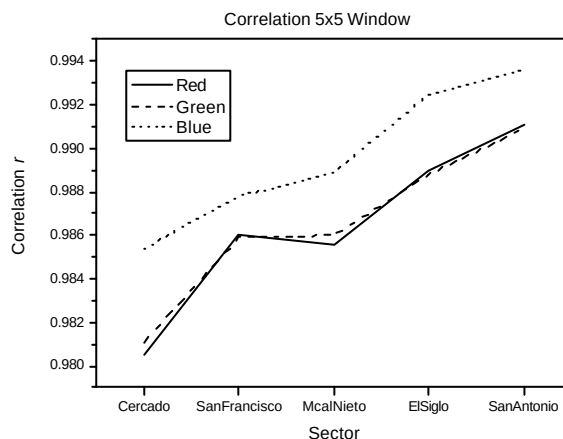


Figura 6. Valor promedio del coeficiente de correlación c_r para diferentes tamaños de ventana móvil.

Finalmente con estos valores de correlación se pueden clasificar los diferentes sectores de la ciudad de Moquegua según el nivel de daño, tal como se aprecia en la Figura 7.

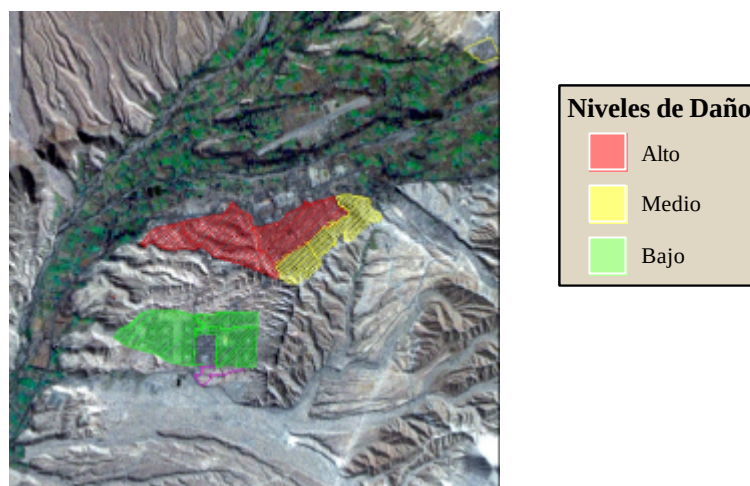


Figura 7. Distribución de niveles de daño en la ciudad de Moquegua.

Comentarios Finales

Para la detección de daños debido al terremoto de Atico, Perú del 2001, se aplicó la correlación de imágenes para imágenes mejoradas. Los resultados de este análisis mostraron una tendencia en los valores digitales de los píxeles de las nuevas imágenes generadas. Se puede concluir que para sectores fuertemente afectados por el sismo los valores de los píxeles, en las imágenes de correlación, son bajos, mientras que en los sectores de poco daño los valores digitales de los píxeles mostraron valores cercanos a la unidad. Sin embargo, debido a los relativamente altos valores de desviación estándar existe aún un grado de incertidumbre en los resultados. A pesar que la Ciudad de Moquegua tuvo sectores con altos niveles de daño, los cambios de la reflectancia en la imagen post-evento no fueron muy notables; el cambio de contraste de las imágenes no fue tan evidente como se hubiera esperado. Un corto estudio de campo fue realizado un mes después del terremoto para verificar las condiciones del lugar. Como se mencionó anteriormente, la mayoría de casas que sufrieron de colapso de sus estructuras fueron las de adobe, material que no produce mayores cambios en la reflectancia, ya que no cambia el color después de haberse producido el colapsado.

Referencias

- Campbell, J. (1996). *Introduction to Remote Sensing*. Second Ed. The Guilford Press. USA.
- Estrada, M., M. Kohiyama, M. Matsuoka and F. Yamazaki (2001). Detection of Damage Due to the 2001 El Salvador Earthquake Using Landsat Images. *Proceedings of the 22nd Asian Conference on Remote Sensing*, Volume 2, pp. 1372-1377. Singapore.
- Estrada, M., M. Matsuoka and F. Yamazaki (2001). Digital Image Detection due to the 1999 Kocaeli, Turkey Earthquake. *Bulleting of the Earthquake Resistant Structure Research Center*, No. 34, pp. 55-66.
- INCEDI, Instituto Nacional de Defensa Civil (2001). <http://www.indeci.gob.pe>
- Japan Association on Remote Sensing (1996). *Remote Sensing Note*. Japan Association on Remote Sensing. Japan.
- Kohiyama, M., H. Hayashi, N. Maki and, S. Hashitera (2000). Validity Study of EDES Application to Taiwan Chi-Chi Earthquake Disaster. *Proceedings of the 21st Asian Conference on Remote Sensing*, Volume 1, pp. 407-412. Taiwan.
- Lillesand, T. M. and R. W. Kiefer (2000). *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons, Inc. USA.
- Mather, P. M. (1999). *Computer Processing of Remotely-Sensed Images An Introduction*. Second Ed. John Wiley & Sons Ltd. England.
- Matsuoka, M. and F. Yamazaki (2000). Remote Sensing Technologies for Earthquake Damage Detection: Examples for Kobe, Japan and Luzon, the Philippines. *Workshop on Mitigation of Earthquake Disaster by Advanced Technologies (MEDAT-1)*. Los Angeles, USA.
- Schowengerdt R. (1997). *Remote Sensing, Models and Methods for Image Processing*. Second Ed. Academic Press. USA.