

¿Cómo las nuevas tecnologías no intrusivas inciden en los estudios de evaluación y exploración de hábitats humanos y posibles sitios arqueológicos?

Ricardo Rodríguez
Patricia Castillo

Introducción

Con los avances tecnológicos desarrollados en los últimos años, especialmente los relativos a la observación de la tierra, mediante satélites de diferentes tipos (activos¹ y pasivos²) y plataformas terrestres, permitiendo la creación de metodologías no intrusivas; particularmente para estudios arqueológicos, se logran detectar características biofísicas, antropomórficas, así como las patologías que afectan dichas estructuras, proporcionando información acerca de los cambios geomorfológicos, cobertura y usos de la tierra; cambios generados tanto por fenómenos naturales, efectos derivados del cambio climático como también por actividades humanas de las comunidades colindantes a los sitios arqueológicos (Rejas, Véliz, Euraque, et al, 2009). En Centroamérica se han desarrollado algunos proyectos que utilizan esta tecnología, tales como: El Petén en Guatemala, Arenal en Costa Rica. Para estos estudios se ha utilizado la teledetección como un recurso metodológico para la detección, el inventario, y priorización de la superficie, obteniendo información arqueológica superficial de una manera rápida, precisa y cuantificada (Marshall Space Flight Center Earth Science Office (NASA)).

La importancia de la pregunta radica en los beneficios que nos permiten el uso de las nuevas tecnologías, en especial, la no destrucción del entorno del posible sitio arqueológico; como tampoco afectar las comunidades colindantes. Asimismo, el ahorro sustancial de costos en la investigación debido a que los datos obtenidos de las imágenes de satélite nos permiten aumentar la precisión en la ubicación de estructuras arqueológicas mediante la evaluación de los cambios en la reflectancia y temperatura del sitio, de acuerdo a los valores obtenidos del

1. Se llaman "sensores activos" porque emiten rayos que reflejan en los objetos y miden la energía que se devuelve reflejada al sensor. (European Space Agency, 2000 - 2010)

2. Estos sensores "se limitan a recoger la energía electromagnética procedente de la cubiertas terrestres, ya sea esta reflejada de los rayos solares, ya sea emitida por su propia temperatura". Ejemplos de este tipo de sensores son los programas Landsat, Spot e Ikonos, entre otros. (Chuvienco, 1996)

espectro electromagnético³ como se muestra en la figura 1.

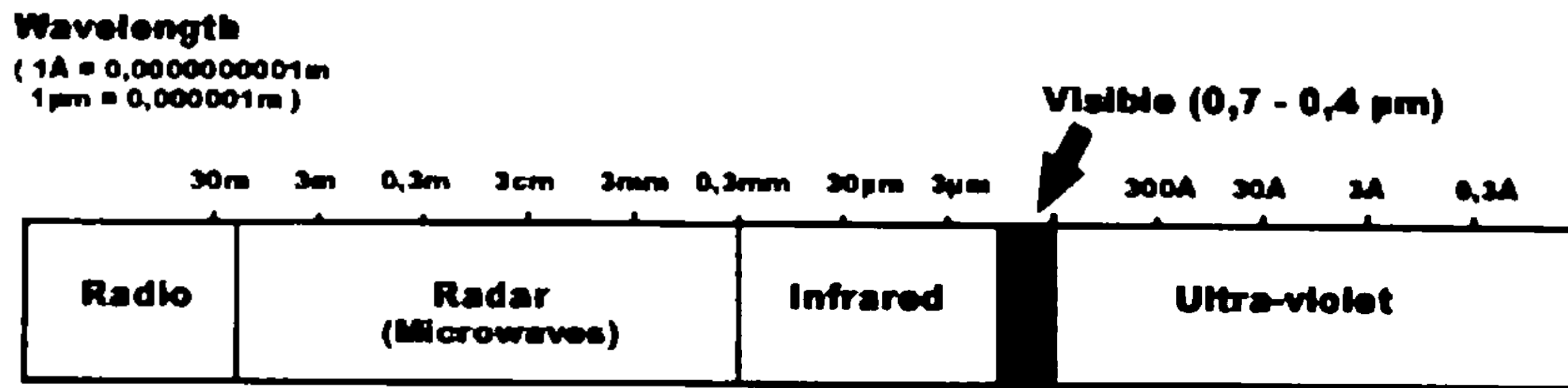


Figura 1: Espectro Electromagnético. Fuente: ESA, Eduspace.

Este tipo de estudios tiene implicaciones muy positivas para el país, lográndose generar la línea de base o cartografía base relacionada al patrimonio arqueológico en Honduras. Aunado a lo anterior, contribuyen en la generación de metodologías que permitan estudios precisos y no destructivos de las zonas arqueológicas, así como del hábitat de las comunidades colindantes. Desde los años 90's Honduras ha estado implementando estas herramientas, específicamente en el área ambiental y monitoreo de fenómenos naturales, sin embargo hoy día se hacen esfuerzos por desarrollarse en otras áreas como lo es la arqueología. En un inicio se han generado las evaluaciones necesarias en tres áreas: Valle de Jesús de Otoro, Región Sur de Choluteca y El Río Aner en la Mosquitia.

Esta investigación se ha desarrollado con el apoyo de herramientas heurísticas, estadísticas y sistemas de información geográficos, lo que ha permitido enlazar datos tabulares con la situación espacial de ubicación de los sitios arqueológicos. Haciendo uso de la teledetección, la que ofrece una gran cantidad de ventajas con relación a otras alternativas disponibles - apoyando y mejorando el trabajo in-situ- lo que garantiza mayor precisión, facilita datos de zonas remotas o de difícil acceso y otras variables no obtenibles en trabajo de campo como: relieve, estructuras geológicas, cobertura vegetal, uso del territorio, condiciones atmosféricas, temperatura, geomorfología entre otras (Sobrino, 2000)

La contribución de este tipo de trabajo se resume en el desarrollo de metodologías no intrusivas en el estudio de sitios arqueológicos y hábitat

³ En teledetección, los sensores también pueden tomar información que el ojo humano no puede ver normalmente (usando radiaciones de otras partes del espectro electromagnético distintas de la luz visible). (European Space Agency, 2000 - 2010).

humanos, procurando de esta manera la preservación y conservación de los sitios arqueológicos así como de las comunidades colindantes.

Al desarrollar esta investigación se puede concluir que:

1. Constituye una aproximación en el desarrollo de técnicas de teledetección y metodologías para el estudio y caracterización de los sitios arqueológicos y hábitat humanos en Honduras.
2. Los resultados de la aplicación de estas tecnologías, mostrarían el gran potencial hiperespectral y multiespectral de las imágenes de satélite en el descubrimiento de alineaciones y estructuras arqueológicas en los posibles sitios.
3. La integración de estos datos en un sistema de información geográfico permitirá el análisis geoespacial de las diferentes regiones del territorio, así como la interoperabilidad con otros datos del patrimonio natural e histórico, permitiendo la generación de modelos capaces de prevenir y anticipar, cualquier efecto ante posibles situaciones relacionadas con los fenómenos naturales como efectos antropogénicos.

Este trabajo se estructura en siete apartados: Introducción, Estudio de casos, Datos y Pre procesamiento, Análisis exploratorio, Conclusiones y Referencias bibliográficas.

Contexto del Trabajo

El mundo participa de un nuevo fenómeno denominado “Globalización”, nuevos esfuerzos se desarrollan, incrementando los resultados obtenidos de las tecnologías de la información, las cuales derivan en el manejo de gran cantidad de documentos, bases de datos y registros. Asimismo, la correcta administración de recursos en la toma de decisiones. La humanidad se enfrenta a enormes cambios – sobre todo climáticos – debido a las intervenciones depredadoras del hombre en la naturaleza. Es por ello, que la humanidad busca diversos mecanismos para adaptarse a dichos cambios. Actualmente, Honduras experimenta cambios bruscos tanto en temperatura como en lluvias generando eventos extremos. Esto influye directamente en los ecosistemas y por ende en el patrimonio arqueológico

y hábitats humano (Locatelli, 2006).

La efectividad de estas metodologías, ha sido probada en países europeos teniendo resultados positivos, pudiéndose replicar en cualquier parte del mundo, esto se debe al tipo de datos y técnica utilizada provenientes de las imágenes de satélites pasivos y activos.

A la fecha existe diversa literatura relacionada con el desarrollo de esta metodología aplicada a la preservación y conservación del patrimonio arqueológico, cultural y hábitat humano. La aplicación de estas metodologías en Honduras es de reciente implementación, por lo que causa novedad incluso dentro de la misma comunidad científica nacional vinculada al tema. La aplicación de estas técnicas está siendo impulsada mediante convenio de cooperación firmado entre la Agencia de Cooperación Española para el Desarrollo (AECID), la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) y el Instituto Hondureño de Antropología e Historia (IHAH).

Existe una gran necesidad para el empoderamiento (knowhow) de estas metodologías por parte de los profesionales locales, lo que garantiza que en el futuro no se dependa de consultores externos para su implementación. En contraparte, para obtener los datos necesarios provenientes de imágenes de satélite (landsat ETM+) se hace necesario establecer convenios de cooperación técnica e intercambio de información, que permitan la continuidad de los estudios para los sitios de interés arqueológico, permitiendo la generación de la línea de base arqueológico, misma que servirá para el futuro análisis en combinación con el resto de temáticas afines.

Marco Referencial

El modelo o marco de referencia para el desarrollo de esta temática se fundamenta en las técnicas de teledetección multi e hiperespectral en arqueología. Se entiende por teledetección o percepción remota: *“la adquisición de información sobre un objeto a distancia, esto es, sin que exista contacto material entre el objeto o sistema observado y el observador”* (Sobrino, 2000).

Los trabajos realizados por el equipo de la NASA ubicados en el Marshall Space Flight Center EarthSciene Office, han hecho uso de esta técnica

generando resultados positivos en los estudios arqueológicos no intrusivos en el área centroamericana, tales como los que se han obtenido en Guatemala para el abordaje de los problemas en la arqueología maya, así como controlar los efectos de la creciente deforestación en la zona. A través del uso de la teledetección y el análisis SIG, se responde a preguntas sobre el pasado de una civilización con el fin de proteger y conservar sus edificaciones y restos de dicha civilización.

Estos mismos procedimientos y metodologías fueron aplicados en El Arenal, Costa Rica, donde el Arqueólogo Thomas Sever se unió al equipo de La NASA al momento de iniciar la serie de vuelos para la obtención de los datos necesarios, la base de datos de teledetección en esta investigación incluyó:

1. Color y fotografías en falso color infrarrojo.
2. Datos térmicos de TIMS.
3. Dos bandas de los datos de radar de apertura sintética.
4. Detección de luz y van (lidar) los datos.
5. Siete bandas espectrales de temática landsat mapper

Esta fue una de las más extensas bases de datos de teledetección creadas para la arqueología de la época. Entre las diversas aplicaciones del modelo seleccionado, podemos detallar las siguientes:

- a) Determinar el crecimiento de los centros poblados,
- b) Cambios en la cobertura boscosa,
- c) Uso del territorio como elemento fundamental en los planteamientos para la ordenación del territorio, así también en los impactos que se tienen como consecuencia de los fenómenos naturales (desastres), entre otras, pudiendo especificar cuantas hectáreas o metros cuadrados de masa boscosa se ha ganado o perdido en dicha zona. Inclusive para la localización de sitios arqueológicos desconocidos por carecer de proyectos de investigación.

Métodos de Análisis

En relación al análisis de los resultados obtenidos con la aplicación de dicho modelo, estos datos pueden ser vistos desde una perspectiva cuantitativa, cualitativa y mixta. Desde el punto de vista cuantitativo, se utilizan imágenes para el cálculo de parámetros físicos, biofísicos o geomorfológicos que puedan ser

cuantificados y expresados numéricamente. Sin embargo, para mejorar y facilitar el análisis cualitativo de los datos se procede a la clasificación radiométrica de los píxeles de imágenes.

Métodos Cualitativos

De acuerdo a Rejas Ayuga & Véliz (2009) estos modelos operan con datos numéricos obtenidos a partir de las imágenes de satélite basados en información y metodologías cuantitativas, sin embargo, su finalidad última es transformar los resultados de tal manera que facilite el análisis cualitativo. La mayoría de estas técnicas conducen a procesos de clasificación numérica digital en base a la respuesta radiométrica de los píxeles de imagen.

Uno de esos clasificadores de imágenes hiperespectrales para efectos arqueológicos es el denominado Spectral Angle Mapper (SAM)(Rejas Ayuga & Véliz 2009, sin publicar).

Este algoritmo se basa en el ángulo espectral respecto a los píxeles considerados como miembros puros, aplicando la siguiente fórmula:

$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{\sum_{t=1}^n t_i r_i}{\left(\sum_{t=1}^n t_i^2 \right)^{0.5} \left(\sum_{i=1}^n r_i^2 \right)^{0.5}} \right]$$

Dónde:

n = es el número de bandas.

t_i = espectro del valor del pixel a clasificar.

r_i = espectro de referencia, miembro puro.

Método Cuantitativo

De acuerdo a Rejas Ayuga & Véliz (2009) se trata de métodos que utilizan las imágenes para el cálculo de algún parámetro físico, biofísico o geomorfológico que pueda ser cuantificado y expresado numéricamente.

En el caso de sensores pasivos, el parámetro primario habitual que se registra es la radiancia (L), permitiendo calcular o estimar las características de los elementos bajo estudio, especialmente a partir de los datos térmicos e infrarrojos.

Es muy importante comprender que una imagen de satélite es un conjunto sistemático de medidas cuantitativas sobre el territorio, pero igualmente es posible realizar investigaciones en el orden cualitativo, robustecidas a través de la teledetección (Chuvienco, 2008).

Método Mixto

Según Rejas (2009, sin publicar) las técnicas que se utilizan para la obtención de los mejores resultados en un análisis arqueológico son: Análisis de Componentes Principales (ACP) y Análisis de Mezcla Espectral (AME).

1. ACP: es una técnica estadística que busca reducir el número de variables iniciales eliminando redundancias. Su uso en teledetección es muy habitual porque brinda la posibilidad de trabajar con la misma información inicial pero menos canales de entrada. Mediante esta técnica se mejora el contraste en las imágenes, facilitando su interpretación. *“Su objetivo es agrupar una amplia cantidad de variables en un nuevo conjunto más pequeño sin perder una parte significativa de la información original, este tipo de análisis son utilizados también al realizar estudios o evaluaciones multitemporales”* (Chuvienco, 1996).

El análisis ACP se opera algebraicamente, generando nuevas variables debido a la integración de las x variables recolectadas en cada banda del sensor, si bien es cierto las escenas pueden operarse a través de una matriz tridimensional, el ACP se efectúa en una matriz bidimensional, por lo que ND de los n píxeles de la escena en una imagen en p bandas pueden arreglarse en una matriz $X_{p \times n}$:

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & X_{2n} \\ \cdot & & & & & \cdot \\ \cdot & & & & & \cdot \\ \cdot & & & & & \cdot \\ X_{p1} & X_{p2} & \cdot & \cdot & \cdot & X_{pn} \end{bmatrix}$$

Donde la i-ésima fila de la matriz contiene los niveles digitales de la i-ésima banda. Denominando $X_i = [x_{i1} x_{i2} \dots x_{in}]^t$ para $i=1,2,\dots, p$, resulta $X_t = [X_1, X_2, \dots, X_p]$.

De acuerdo con Mardia, Kent y Bibby (1982) el análisis ACP para determinar la relación entre bandas puede realizarse de dos maneras:

a) Matriz de varianza-covarianza

$$\Sigma_X = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & \sigma_{1p} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & \sigma_{2p} \\ \cdot & & & & & \cdot \\ \cdot & & & & & \cdot \\ \cdot & & & & & \cdot \\ \sigma_{p1} & \sigma_{p2} & \cdot & \cdot & \cdot & \sigma_{pp} \end{bmatrix}$$

Siendo los elementos de la diagonal las varianzas de los ND en para cada banda:

$$\sigma_{ii} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [x_{ik} - E(x_i)]^2$$

Dónde:

$$E(x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{ik}$$

b) Matriz de correlación

$$\rho_X = \begin{bmatrix} \rho_{11} & \rho_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & \rho_{1p} \\ \rho_{21} & \rho_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & \rho_{2p} \\ \cdot & & & & & \cdot \\ \cdot & & & & & \cdot \\ \cdot & & & & & \cdot \\ \rho_{p1} & \rho_{p2} & \cdot & \cdot & \cdot & \rho_{pp} \end{bmatrix}$$

Calculando los coeficientes de correlación lineal de Pearson de la siguiente manera:

$$\rho_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\sigma_{ii} \sigma_{jj}}$$

2. AME es otra técnica de tratamiento de imagen objeto de investigación en los últimos años. Consiste en calcular mediante herramientas estadísticas la probabilidad del aporte en la señal de las respuestas de distintas superficies en una mismo píxel de imagen por longitud de onda (I).

$(Lr(l) \text{ pixel} = n \text{ Se} = 1 [Fe * r(l)e] + e(l))$

Este resultado permite obtener una combinación de distintas capas, al clasificarlo se asigna la clase dominante, en la cartografía convencional. Esto se debe a que los mapas temáticos resultantes se les asignan una unidad homogénea, o sea una misma parcela no puede representar dos o más categorías (Chuvienco, 2008).

Honduras: Estudios de Caso

El patrimonio cultural, material e inmaterial en Honduras y Centroamérica se ve constantemente afectado por diferentes eventos como: inundaciones, incendios, terremotos o deforestación, producidos directamente por fenómenos estacionales o como efectos indirectos del cambio climático, produciendo elevados daños al patrimonio cultural y arqueológico y consecuentemente, a las comunidades que habitan en sus entornos, quienes contribuyen al deterioro del medio ambiente.

En el marco del proyecto de investigación PCIAE CID A/019450/08 desarrollado en forma interinstitucional (UNAH, IHAH y Universidad Politécnica de Madrid (UPM)), se han definido dos zonas para el estudio que tienen características geomorfológicas, de hábitat y grupos étnicos diferentes, siendo esto una ventaja que permitirá extrapolar dichos resultados en el resto de las zonas arqueológicas de Honduras.

Las zonas en estudio fueron:

- **Valle de Jesús de Otoro:** esta zona no es muy extensa y está dentro de la zona del pueblo lenca, existe gran abundancia de sitios arqueológicos de los cuales se empezó a tener noticias en la década de los años 90's. A partir de entonces los arqueólogos del IHAH visitaron y mapearon el lugar.
- **Región sur de Choluteca:** es una zona arqueológica desconocida, sin embargo, es probable que posea gran potencial arqueológico en vista que era un paso obligado de las primeras migraciones amerindias o grupos indígenas (Stone, 1957).

- **Valle de Copán:** fue la segunda ciudad maya en importancia, después de Tikal; sin embargo su escultura y desarrollo de la ciencia la hizo sobresalir en ciencia y arte, siendo un sitio arqueológico maya superior. UNESCO lo declara Patrimonio de la Humanidad por su famosa escalinata jeroglífica y su campo para juego de pelota, el segundo más grande en el mundo maya.
- **Río Aner:** ubicado al sureste de la reserva de la Biosfera del Río Plátano, es uno los sitios arqueológicos más grandes e impresionantes de la zona.

Datos adquiridos y Análisis Exploratorios

La primera fase de este proyecto consistió en la adquisición de datos de sensores satelitales multi e hiperespectrales para las zonas de estudio, posteriormente se procesaron dos imágenes del sensor hyperion (2003 y 2004) en el valle de Jesús de Otoro y zonas aledañas. En el 2004 y 2007 se han procesado imágenes del sensor ALI (Advanced Land Imager) para las zonas del Valle de Jesús de Otoro y Valle de Choluteca. Asimismo, para cubrir todo el rango espectral posible, incluido el espectro térmico, también se han adquirido imágenes del sensor ASTER para los casos de estudio.

Para complementar y verificar los datos satelitales obtenidos, estas zonas fueron intervenidas con trabajo de campo, supervisión, prospección arqueológica a pie de terreno y espectro radiometría. Los principales temas a estudiar a partir de los datos que se obtuvieron de la teledetección en el marco del proyecto son:

1. Geología y geomorfología,
2. Vegetación, y
3. Prospección espectral y térmica aplicada a detección de elementos antrópicos o restos arqueológicos.

Estos parámetros permitirán establecer conexiones y correlaciones espacio-temporales entre los distintos sitios arqueológicos pre y pos-hispánicos.

Otra de las aplicaciones de la teledetección que se han comenzado a estudiar es la vegetación y el uso del suelo, visitando y supervisando las áreas seleccionadas para este tipo de estudios.

El resultado obtenido en el valle de Jesús de Otoro está muy influenciado por la cubierta vegetal, que actúa como fuente de error. No obstante, se observa presencia de materiales de alteración arcillosa-fílica, contrastando con la abundancia de compuestos de óxidos de hierro. La hipótesis inicial es la correlación existente entre este tipo de materiales y la presencia de actividad antrópica reciente o del pasado. Estos estudios se encuentran en proceso de validación tanto para complementar la región del Valle de Jesús de Otoro y dar inicio a la región sur de Choluteca.

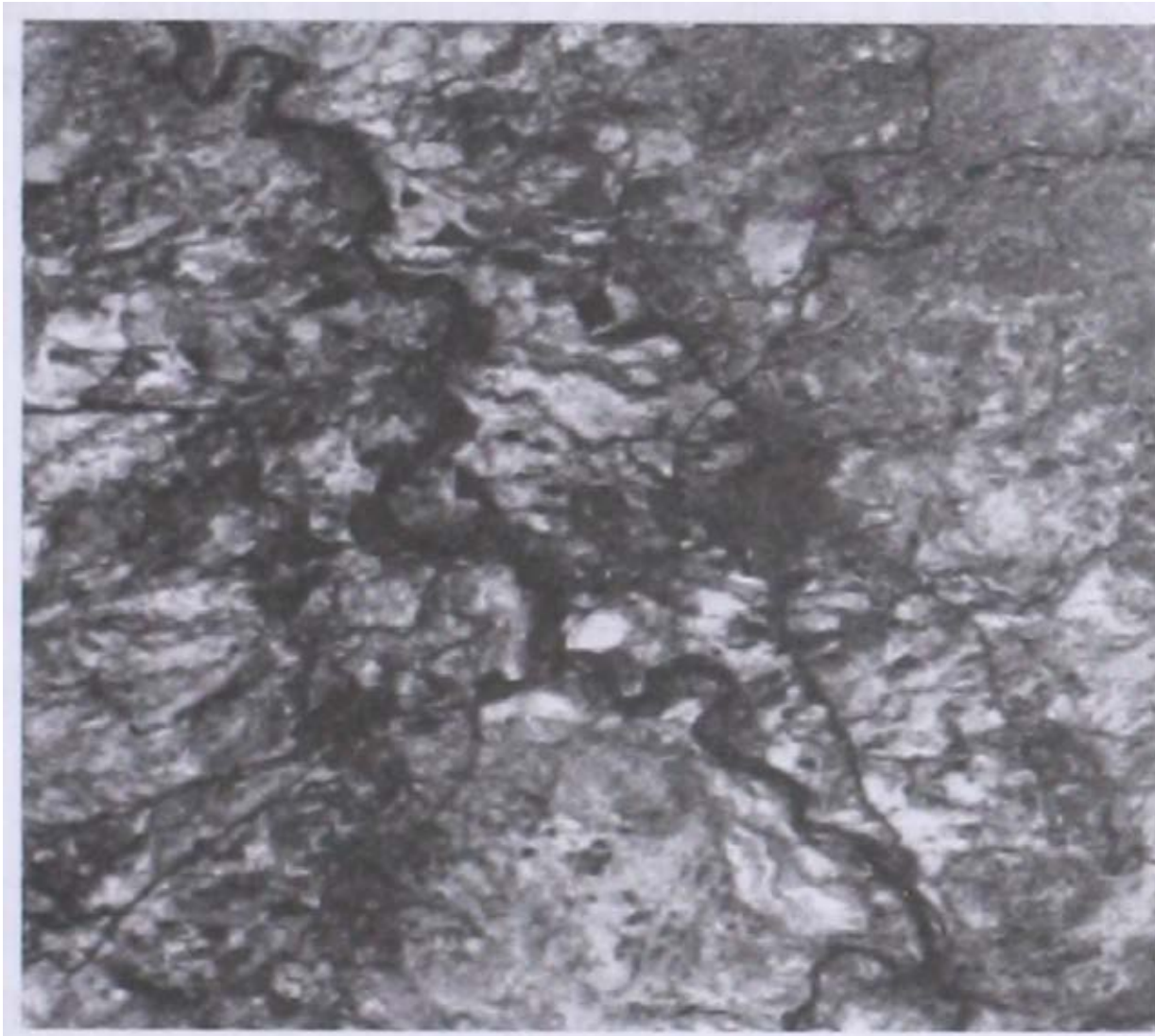


Figura 2: Imagen Landsat ETM+, Valle de Jesús de Otoro.

Otros Ejemplos de aplicaciones

Como se menciona en apartados anteriores existen diversas aplicaciones o estudios que se pueden desarrollar utilizando datos provenientes de imágenes landsat como por ejemplo, cambios en la cobertura boscosa o dicho de otra manera: Dinámica de Cambios en la Cobertura Vegetal.

Se recomienda que los análisis resultantes de la teledetección se combinen con algún modelo econométrico que permita determinar correlación, regresión u otros detalles. Para el ejemplo que a continuación se detalla se ha combinado con un modelo de regresión logística; este favorece el análisis de uno de los elementos que según Entwisle, Stern, y National Research (2005); Locatelli (2006). Estudio realizado por PNUMA (2002) revela que el 65% de la energía generada en el país proviene de la leña; asimismo, el 75% de la población

Lambin y Geist (2007) argumentan que el elemento que mejor explica la dinámica de cambios en la cobertura vegetal es la población (crecimiento demográfico).

Para este ejercicio se han utilizado los insumos y variables para un período de 1975 a 2005, descritos en la tabla 1 y 2:

Sensor	pathrow	fecha	bandas
MSS	17-50	16/marzo/1976	4
	18-50	23/marzo/1975	4
TM	17-50	22/enero/1987	7
ETM+	17-50	15/julio/2001	8
	17-50	16/febrero/2005	8

Tabla 1: Sensores y escenas a utilizar para la evaluación. Fuente: (Rodríguez Rivera, 2012)

Variable Dependiente	Variables Independientes
<p>Cobertura Vegetal: variable dicotómica representada por dos valores: Tierra con Cobertura (1) y Tierra sin Cobertura (0).</p> <p>Se determinará la Cobertura Vegetal mediante imágenes Landsat para los años: 1975-1976, 1987, 2001 y 2005 obtenidas de SERVIR (www.servir.net).</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Población de los censos de 1974, 1988, 2001 y población proyectada por el INE para el año 2005. 2. Población que usa madera para construcción de paredes en viviendas. 3. Población que usa madera para construcción de pisos en viviendas. 4. Población que usa madera como fuente de energía para cocinar. 5. Población que usa madera como fuente de energía para alumbrarse en la oscuridad).

Tabla 2: Variables a utilizar en el modelo de regresión logístico. Fuente:(Rodríguez Rivera, 2012)

En este ejercicio se obtuvieron dos tipos de resultados: 1. Cartográficos: mapas temáticos para cada uno de los años seleccionados, permitiendo determinar los cambios ocurridos en la cobertura vegetal; y 2. Estadísticos: las bases de datos generadas a través de los mapas dicotómicos se han vinculado a los censos de población y vivienda, permitiendo determinar o interpretar la incidencia o influencia de la población en dichos cambios, a través de un modelo de regresión logístico.

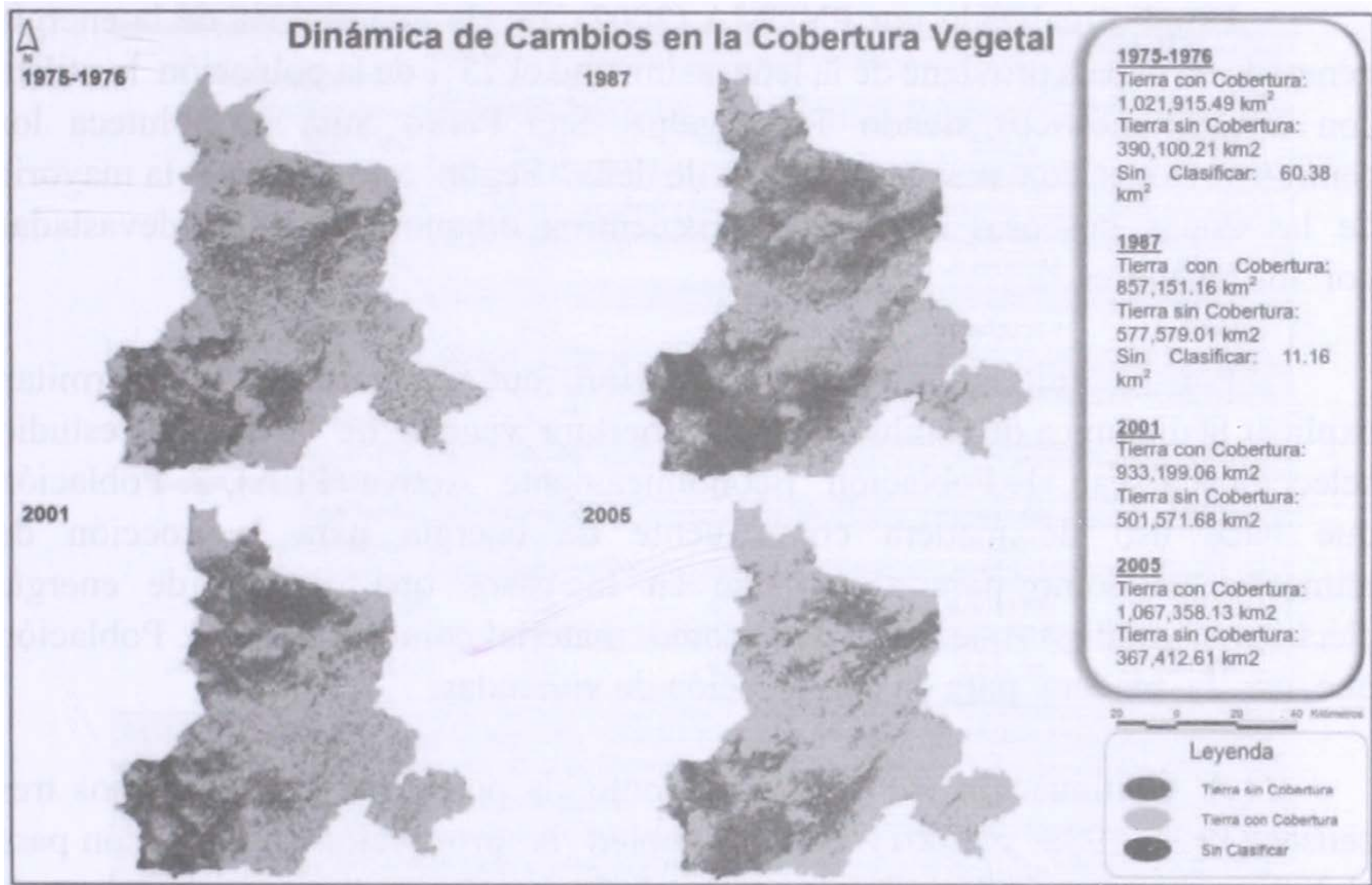


Figura 3: Dinámica de Cambios en la Cobertura Vegetal. Fuente (Rodríguez Rivera, 2012)

La tabla 3 permiten evaluar de manera rápida la dinámica de cambios desde el momento Tx (1975) al momento Ty (2005).

Año escena	Año Censo de Población	Población Total ¹	Tierra con Cobertura Vegetal ² (km ²)	Tierra sin Cobertura Vegetal ² (km ²)	Sin Clasificar ² (km ²)	Total Cobertura ² (km ²)	Variación de la cobertura entre censos	Variación de la cobertura con respecto al año base (1974)
1975-1976	1974	204,423.00	1,021,915.49	390,100.21	60.38	1,412,076.08	0%	0%
1987	1988	466,622.00	857,151.16	577,579.01	11.16	1,434,741.33	-11%	-11%
2001	2001	555,752.00	933,199.06	501,571.68	0	1,434,770.74	5%	-6%
2005	2005*	610,727.00	1,067,358.13	367,412.61	0	1,434,770.74	9%	3%

Tabla 3: Comparación de cambios en la cobertura vegetal en relación a la población total de la zona de estudio. Fuente (Rodríguez Rivera, 2012).

Estudio realizado por PNUMA (2002), revela que el 65% de la energía generada en el país proviene de la leña, asimismo el 75% de la población la utiliza con fines domésticos, siendo Tegucigalpa, San Pedro Sula y Choluteca los centros urbanos con mayor consumo de leña. Según este informe la mayoría de las zonas boscosas cercanas a los centros urbanos han sido devastadas por los leñadores.

Por lo anterior, se espera a priori que las variables que permitan explicar la dinámica de cambios en la cobertura vegetal de la zona de estudio seleccionada sean: 1. Población Económicamente Activa (PEA), 2. Población que hace uso de madera como fuente de energía para la cocción de alimentos, así como para alumbrarse en los casos que carecen de energía eléctrica o candiles que usen gas como material combustible, y 3. Población que usa la madera para la construcción de viviendas.

A continuación se describe como la población de los últimos tres censos (1974, 1988 y 2001) como también la proyección de población para el 2005 y sus actividades influyen en la dinámica de cambios de la cobertura vegetal a través del modelo de regresión logística (tabla 4).

¿Cómo las nuevas tecnologías no intrusivas inciden en los estudios de evaluación y exploración de hábitats humanos y posibles sitios arqueológicos?

Año de Evaluación	1974	1987	2001	2005
				<i>Población Total</i>
Valor predictivo: Y	0.50909125	0.50847471	0.49152424	0.49152527
dy/dx (Población)	-3.93e ⁻⁰⁷	-9.29e ⁻⁰⁸	-1.60e ⁻⁰⁷	8.12e ⁻⁰⁸
Prob > chi ²	0.949	0.9714	0.9426	0.9679
Máxima verosimilitud	-38.11	-40.89	-40.88	-40.886397
	<i>Valores marginales integrando solamente población desagregada por edades</i>			
Población 0 a 6	ND	-0.0000706	1.28e-06 *	-5.16e ⁻⁰⁸
Población 7 a 12	ND	-5.08e ⁻⁰⁸	-0.0000234	-2.49e ⁻⁰⁸
PEA	ND	0.0000418	-8.55e ⁻⁰⁸	0.30e ⁻⁰⁸
Tercera edad	ND	-0.0002638	0.0002235 *	-0.0000666
	<i>Valores marginales integrando población que utiliza madera para construcción y energía y la población desagregada por edades</i>			
Madera para piso	9.01e ⁻⁰⁸	ND	ND	ND
Madera para cocinar	0.0000155	-0.0000113	-0.0000175	ND
Madera para construcción	ND	ND	0.0000808	ND
Alumbrado	0.0000239	3.3408e-06	0.0000419	ND
Pared de madera	-0.0000793	0.0000642	-0.0003	ND
Pared de palo	-0.0003798	-0.0002165	-0.0012068	ND
Población 0 a 6	ND	-0.0000393	0.0000703	ND
Población 7 a 12	ND	-0.0000183	-0.0000913	ND
PEA	ND	0.0000372	7.51e-06	ND
Tercera edad	ND	-0.000304	0.0001623	ND

Tabla 4: Probabilidad de que la población total en el área de estudio y probabilidad que población que utiliza madera para actividades de construcción y energía y probabilidad por rangos de edades influyan en la dinámica de cambios en la cobertura vegetal.

- La escena obtenida para la evaluación del año 2001 no data de la misma época que el resto de escenas obtenidas para 1975-1976, 1988 y 2005, pudiendo generar incongruencias en los resultados, tal como los obtenidos en el modelo mostrado en la tabla 6; en base a la experiencia del investigador y el conocimiento empírico se descartan los datos de la población comprendidos entre edad de 0 a 6 años debido por no ser un elemento determinante para la investigación.

(Fuente) Rodríguez Rivera, 2012).

En todos los resultados obtenidos con el modelo de regresión logístico converge la máxima verosimilitud en cuatro o menos interacciones se permite descartar la multicolinealidad⁴, sin embargo, un resultado marginal negativo en un nivel de significancia al 95%, impide al investigador aceptar la hipótesis nula (Cameron y Trivedi, 2009).

Con los resultados obtenidos de la regresión logística se puede concluir que a pesar que en los informes del ICF, SERNA y CONADEH, Honduras posee una de las tasas de crecimiento de población más altas de América Latina, como también una de las tasas más altas de deforestación (legal / ilegal), los cambios en la cobertura vegetal que se han determinado para la zona de estudio no han demostrado que la deforestación es predominante, por el

4. Se define como la existencia de una relación perfecta o exacta entre las variables explicativas de un modelo de regresión. El término de error estocástico es incluido en la evaluación de la multicolinealidad, esto se refiere a relaciones lineales entre variables x y no elimina las relaciones no lineales existentes entre ellas. En un modelo clásico de regresión lineal se entiende que no hay multicolinealidad debido a que cuando la multicolinealidad es perfecta los coeficientes de la regresión de las variables x son indeterminados y sus errores estándar son infinitos, caso contrario los coeficientes de regresión poseen grandes errores estándar, lo que hace que los coeficientes no pueden ser estimados con gran precisión. (Gujarati, 2004).

contrario, los datos estadísticos disponibles evidencian una regeneración en la cobertura vegetal.

Conclusiones

La implementación y desarrollo de técnicas de teledetección y metodologías para el estudio y caracterización de los sitios arqueológicos y hábitat humanos en Honduras, contribuirá en investigaciones avanzadas, sin dañar los sitios estudiados.

Los resultados obtenidos a la fecha muestran el gran potencial de los datos hiperespectrales y multiespectrales térmicos para la detección de alineamientos y estructuras enterradas en los Valles de Jesús de Otoro y Choluteca. Asimismo, se ha comprobado que el uso de varias tecnologías de bajo costo, han posibilitado el registro y actualización de datos de alta precisión espacial y espectral en un proceso multitemporal.

La integración de estos datos multifuentes con SIG pueden posibilitar el análisis geoespacial de ambas regiones y la interconexión entre los distintos procesos: naturales e históricos, permitiendo generar modelos capaces de prevenir y anticipar los efectos de posibles situaciones de riesgo.

Los resultados obtenidos a la fecha muestran el gran potencial de los datos hiperespectrales y multiespectrales térmicos para la detección de alineamientos y estructuras enterradas en los Valles de Jesús de Otoro y Choluteca. De igual manera, se ha comprobado que el uso de varias tecnologías de bajo costo, han posibilitado el registro y actualización de datos de alta precisión espacial y espectral en un proceso multitemporal.

La implementación de un sistema de información geográfico (SIG) es una herramienta vital para la toma de decisiones, planificación, modelación que muchas instituciones deberían estar implementando, dentro de ellas el IHAH, ya que el Patrimonio Cultural no está exento de los embates de los fenómenos naturales, por lo que se debe contar con una política de gestión de riesgos, prevención, mitigación y adaptación de cambios; esto permitiría interactuar con otras instancias que hoy en día se desarrollan en el país como: SINIT, SINAGERH, Ordenación del Territorio, lo que contribuiría al mejoramiento del cumplimiento legal que tiene el IHAH: Proteger y Conservar el Patrimonio Cultural.

Acrónimos

ACP	Análisis de Componentes Principales.
AECID	Agencia de Cooperación Española para el Desarrollo.
AME	Análisis de Mezcla Espectral.
ALI	Advanced Land Imager.
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer. El satélite Aster fue lanzado en la plataforma de TERRA en diciembre de 1999. Contiene 14 bandas; Infrarroja termal (TIR) con 5 bandas a 90 metros de resolución, Infrarroja de Onda Corta (SWIR) con 6 bandas a 30 metros de resolución e Infrarroja Visible/Cercana (VNIR) con 4 bandas a 15 metros de resolución. Las imágenes ASTER son utilizadas para la interpretación geológica y ambiental, pero también tienen muchos otros usos. La anchura de la toma de las imágenes es los 60Km, obteniendo escenas que cubren un área de 60 X 60Km. Su tiempo de revisita es del 16 días.
ETM+	Enhanced Thematic Mapper Plus; su operación es administrada por la NASA (National Space and Space Administration) y la producción y comercialización de imágenes depende de la USGS (United States Geological Survey). Una imagen LANDSAT 7 ETM+ está compuesta por 8 bandas espectrales que pueden ser combinadas de distintas formas para obtener variadas composiciones de color u opciones de procesamiento. Entre las principales mejoras técnicas respecto de su antecesor, el satélite Landsat 5, se destaca la adición de una banda espectral (Banda Pancromática) con resolución de 15 metros. También, cuenta con mejoras en las características geométricas y radiométricas y una mayor resolución espacial de la banda térmica para 60 m. Estos avances tecnológicos permiten calificar al LANDSAT 7 como el satélite más interesante para la generación de imágenes con aplicaciones directas hasta una escala de 1:25.000, principalmente, en áreas rurales o territorios de grandes extensiones.
IDH	Índice de Desarrollo Humano.
IHAH	Instituto Hondureño de Antropología e Historia.
MOU	Memorándum de Entendimiento.
NASA	National Aeronautics and Space Administration, por sus siglas en inglés; Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio.
OCDE	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico.
ORPALC	Oficina Regional para América Latina y el Caribe.
PIB	Producto Interno Bruto.
RADIANCIA	La radiancia (<i>radiance</i>) de una superficie emisora, es el flujo radiante emitido (directamente o por reflexión o transmisión) por unidad de ángulo sólido y por

unidad de área proyectada sobre un plano normal a la dirección en consideración.

SAM	Spectral Angle Mapper.
SERVIR	The Regional Visualization and Monitoring System, por sus siglas en inglés; Sistema Regional de Visualización y Monitoreo.
SIAM	Sistema de Información Ambiental Mesoamericano.
SIG	Sistema de Información Geográfico.
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.
UNAH	Universidad Nacional Autónoma de Honduras.
UPM	Universidad Politécnica de Madrid.

Bibliografía

Cameron, A. C. y Trivedi. P.K. (2009) *Microeconometrics Using Stata*. Texas: Stata Press.

Chuvienco, E. (1996). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. RIALP.

Chuvienco, E. (2008). *Teledetección Ambiental*. Barcelona: Book Print Digital.

European Space Agency. (2000 - 2010). ESA - *Eduspace*. Recuperado el 24 de julio de 2010, de <http://www.eduspace.esa.int>

Entwisle, B., Stern, P. C., & National Research. (2005). *Population, Land Use and Environment*. Washington DC: National Academics Press.

Kemp, K. (2008). *Encyclopedia of Geographic Information Science*. Sage Publications

Jensen, J. R. (1996). *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. Prentice Hall.

Lambin, E. F., & Geist, H. J. (2007). *Encyclopedia of Earth*. Recuperado el 20 de septiembre de 2010, de http://www.eoearth.org/article/Causes_of_land-use_and_land-cover_change>

Locatelli, B. (2006). Vulnerabilidad de los bosques y sus servicios ambientales al cambio climático. CIRAD-CATIE.

Mardia, K. V., Kent, J. T., & Bibby, J. M. (1982). *Multivariate analysis*. Londres: Academic Press.

McCoy, R. M. (2005). *Field Methods in Remote Sensing*. New York, NY: The Guilford Press.

Marshall Space Flight Center Earth Science Office (NASA). (s.f.). *Earth Science Office*. Recuperado el 24 de julio de 2010, de <http://weather.msfc.nasa.gov>.

PNUMA. (2002). *Pachama: Guía del Maestro*. Nairobi, Kenia: Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

Rejas Ayuga, J. G., & Véliz, S. V. (2009, Sin publicar). Teledetección multi e hiperespectral en arqueología. Experiencias de aplicación en sitios en Honduras. Yaxkin, (No. 9).

Rejas, J. G., Véliz, S. V., Euraque, D., Martínez, E., Rodríguez, J., & Farjas, M. (2009). Archaeological remote sensing approach in Honduras. A project for cultural heritage and human habitats protection. Honduras.

Rodríguez Rivera, J. R. (febrero de 2012). *Dinámica de Cambios en la Cobertura Vegetal (1975 – 2005)*. Tegucigalpa, Honduras.

Sobrino, J. A. (2000). Teledetección. Valencia, España: Guada Impresores S.L.

SRGIS Geología y Geomática Ltda. (2006). SRGIS Sensores Remotos & GIS. Recuperado el 10 de octubre de 2010, de <http://www.srgis.cl>

Stone, Doris Z., (1957). The archaeology of central and southern Honduras, Papers of the Peabody *Museum of Archaeology and Ethnology*, Vol. 49, (No. 3).