

Kamal, Omar S., James E. Brady, Stephen Houston, Gene A. Ware y Douglas M. Chabries
1999 Mejoramiento de la imagen multi-espectral de los murales Mayas de La Pasadita, Petén. En *XII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 1998* (editado por J.P. Laporte y H.L. Escobedo), pp.407-426. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala.

28

MEJORAMIENTO DE LA IMAGEN MULTI-ESPECTRAL DE LOS MURALES MAYAS DE LA PASADITA, PETÉN

*Omar S. Kamal
James E. Brady
Stephen Houston
Gene A. Ware
Douglas M. Chabries*

La investigación relacionada con la toma de imágenes por medio de la tecnología multi-espectral no es nueva a la comunidad de ingeniería. Tradicionalmente, las ideas y técnicas de este campo se han desarrollado y utilizado en las áreas de conservación y detección alejada. Una de las primeras aplicaciones de luz no visible fue cuando la fotografía infrarroja (IR) se empleó con éxito en la prospección de libros, pergaminos y pinturas deteriorados o falsificados. Este tipo de fotografía es capaz de penetrar en el suelo o en modificaciones hechas adrede, revelando las pinturas y restauraciones (Ware *et al.* s.f.). En el área de detección alejada o remota, las imágenes multi-espectrales de diferentes generaciones de los satélites de Landsat, han dado a los investigadores una cantidad extensa de datos de la imagen. Esto promovió el desarrollo de las técnicas avanzadas y de algoritmos para clasificar adecuadamente el terreno y también los cambios temporales, siendo de beneficio para la exploración geológica, la planificación del futuro y la conservación de los recursos naturales. Tal investigación proporcionó una expansión en este campo y una gran cantidad de literatura que se ha publicado durante los últimos 25 años.

El proceso de imágenes multi-espectrales se puede aplicar en situaciones nuevas y difíciles. Los métodos y técnicas que se han desarrollado antes para detección remota se pueden modificar para aplicarlos en la detección de artefactos antiguos (Kamal 1998), ya que los esfuerzos arqueológicos han sido detenidos por el deterioro de los vestigios antiguos. Es por esto que la necesidad de tener tecnología y técnicas avanzadas es crítica. Varios materiales que se han usado para dibujar y escribir en la antigüedad responden de diferente forma a la luz cuando se ven en frecuencias diferentes (o longitudes de onda). En las siguientes secciones mostraremos que con estos métodos podemos ver detalles que normalmente no se podrían distinguir. Nuestro enfoque ha sido aplicado en dos fragmentos de murales de la civilización Maya Clásica. Estos fragmentos representan una prueba exigente a la tecnología de imágenes con equipo que es portátil y diferente al laboratorio tradicional (Ware *et al.* s.f.; Brady *et al.* 1997).

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

En 1971, Ian Graham tomó fotos de fragmentos de murales en el interior de una pared de división dentro de la Estructura 1 en La Pasadita (Figura 1). Este sitio Clásico está situado a unos 16 km al noroeste de Yaxchilan, una capital Maya importante en el valle del río Usumacinta entre Guatemala y México (Figura 2). Con base en las inscripciones, La Pasadita fue un centro tributario de Yaxchilan. Actualmente, es una de las pocas ruinas en la región Maya con restos numerosos de pintura mural.

Los únicos ejemplos comparables en la región del Usumacinta son unos ejemplares que no se han conservado muy bien en Yaxchilan y los impresionantes murales de Bonampak (Miller 1986; 1995). La Pasadita es importante porque nos da información de la escena que se representó y la pintura tradicional de los Mayas.

Preocupado por la condición precaria de la Estructura 1, Graham sacó cuidadosamente algunos fragmentos de los murales de La Pasadita y los llevó al Museo Nacional de Arqueología y Etnología de Guatemala, donde hoy están en exhibición. La Figura 3 muestra cuáles fragmentos fueron quitados y cómo se acomodaban dentro del programa completo de los murales. Una sección bien preservada no se pudo sacar. Lamentablemente, de acuerdo con Charles Golden, la Estructura 1 desde entonces se ha derrumbado. Por esta razón los fragmentos en el museo son tan importantes.

La Estructura 1 tiene bosquejos similares al edificio en donde están los murales de Bonampak. De las fotos de Graham (Figura 1), es claro que, al igual que en Bonampak, todo el cuarto estuvo cubierto alguna vez de pinturas como en la pared divisoria. Apenas se puede ver lo suficiente en la foto para poder distinguir otros diseños. La pared divisoria, la cual se agregó después, empezó a separarse de la pared del fondo y consistía de piedra caliza puesta de una manera horizontal y cubierta por estuco arenoso.

En la valle del río Usumacinta, este tipo de albañilería aparece en el periodo Clásico, una fecha que coincide con las representaciones epigráficas de la Estructura 1. El yeso también sirvió como lechada. Encima de éste, los Mayas también aplicaron una capa de estuco que parece haber sido pulido.

La pintura fue colocada en diferentes capas. Primero, directamente encima del estuco blanco, hay un poco de color anaranjado. La superposición de estas pinturas se parece mucho a la tecnología de la pintura Clásica en cerámica policroma: blanco con anaranjado nos da una luminosidad, la que probablemente fue pulida. Usando imágenes infrarrojas de un fragmento (Figura 4), vemos una pintura profunda de carbón, que es la silueta de las joyas de la cara y el cuello. El uso de diferentes técnicas con los fragmentos nos enseña la obra de diferentes pintores.

Después vino un rojo oscuro, dándole un fondo vivo. Este pigmento resaltó en la luz infrarroja, tal vez porque se mezcló con mucho carbón para intensificar su color; pigmentos similares ocurren en otros monumentos de La Pasadita o de esta área. Finalmente, los pintores aplicaron color verde que demarcó los tocados, joyería, plumas y cinturones. La paleta de colores – el fondo rojo, las caras anaranjadas, la joyería azul verde – se parece mucho a la escena en la Estructura 40 en Yaxchilan.

Las figuras en los murales de La Pasadita son bailarines; por lo menos uno tiene un marco dorsal con el símbolo de juicio o símbolo del "cerro". Todos son masculinos y parecen corresponder a la mitad o un tercio del tamaño normal de un hombre. Los personajes a la izquierda y a la derecha (#1 y #3) parecen estar de perfil, viendo hacia la pared de atrás.

El personaje del centro (#2) tiene la cara en la misma dirección, pero su cuerpo da al otro lado (esto podría deberse a que es importante o solamente para cambiar la pintura por razones estéticas). El Personaje 1 tenía un espacio, con borde verde, aparentemente para jeroglíficos que nunca fueron terminados.

Es probable que los otros personajes ocuparan espacios similares, pero la pintura se ha caído en los lugares en que esperábamos que aparecieran. El aspecto más interesante es el bastón que el Personaje 1 tiene en la mano: esto hace referencia a los rituales de solsticio en el verano.



Figura 1 Fotografía de la pared de división dentro de la Estructura 1 en La Pasadita, Guatemala

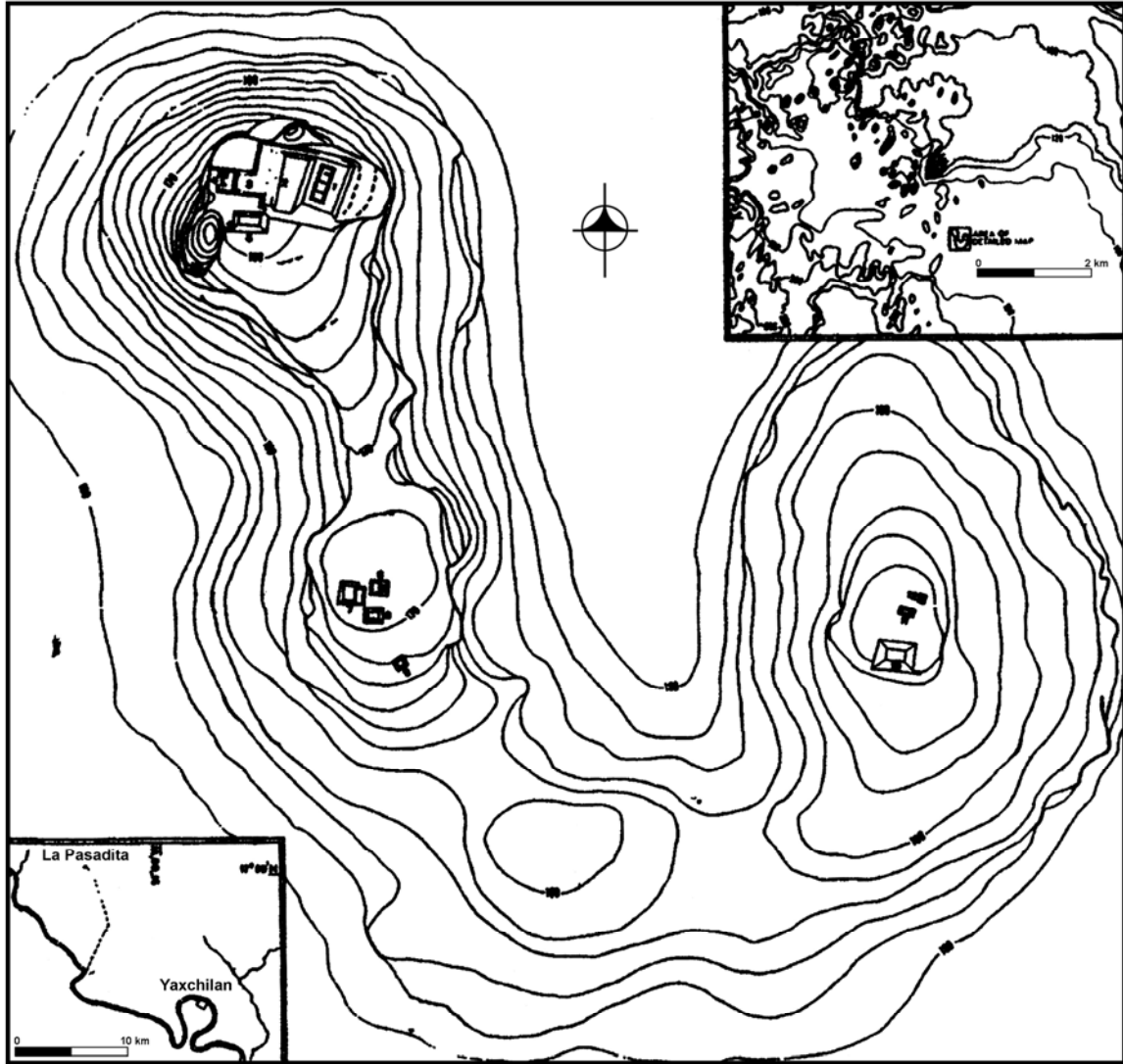


Figura 2 Mapa de la región de La Pasadita

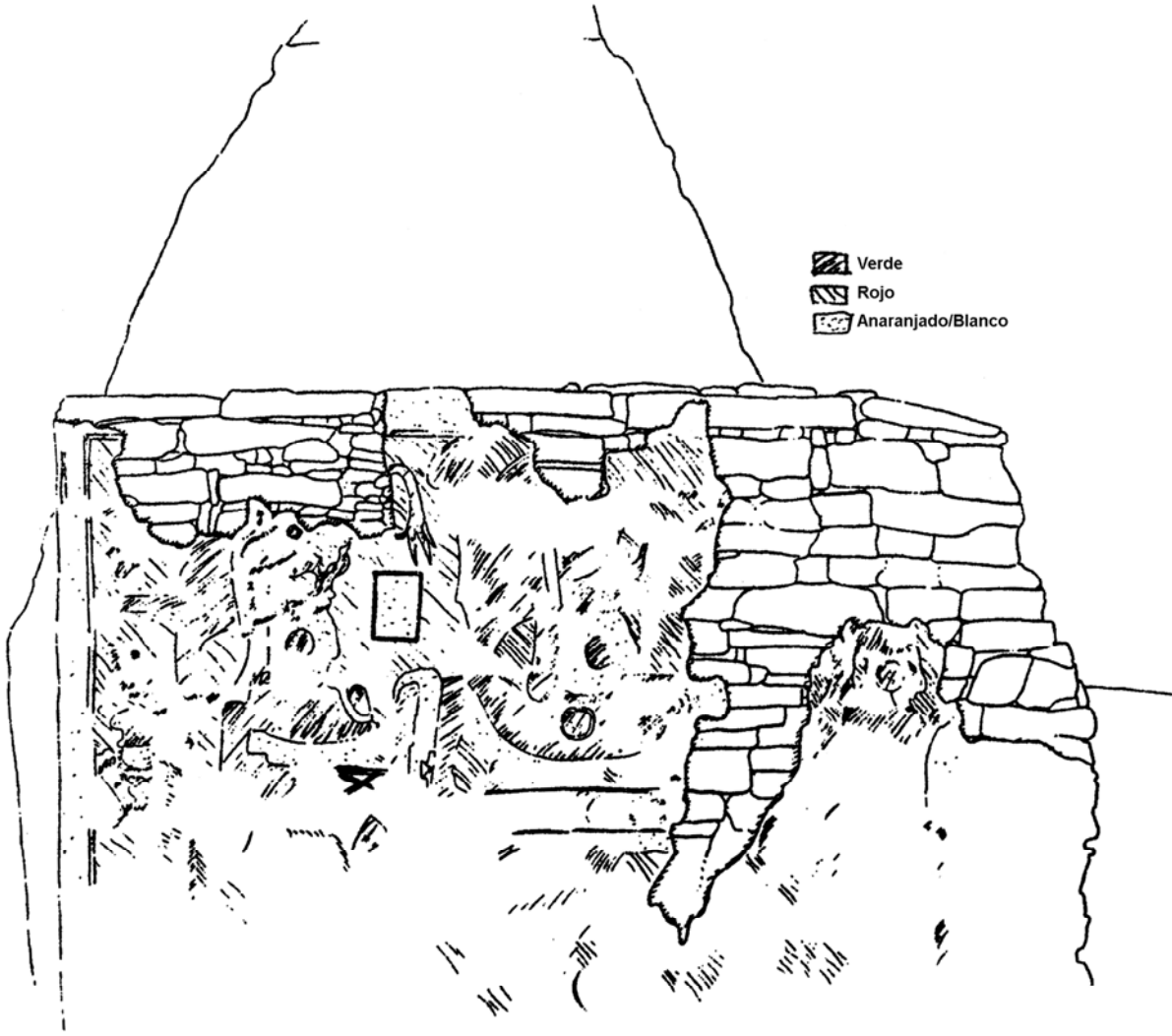


Figura 3 Bosquejo de los murales en la pared

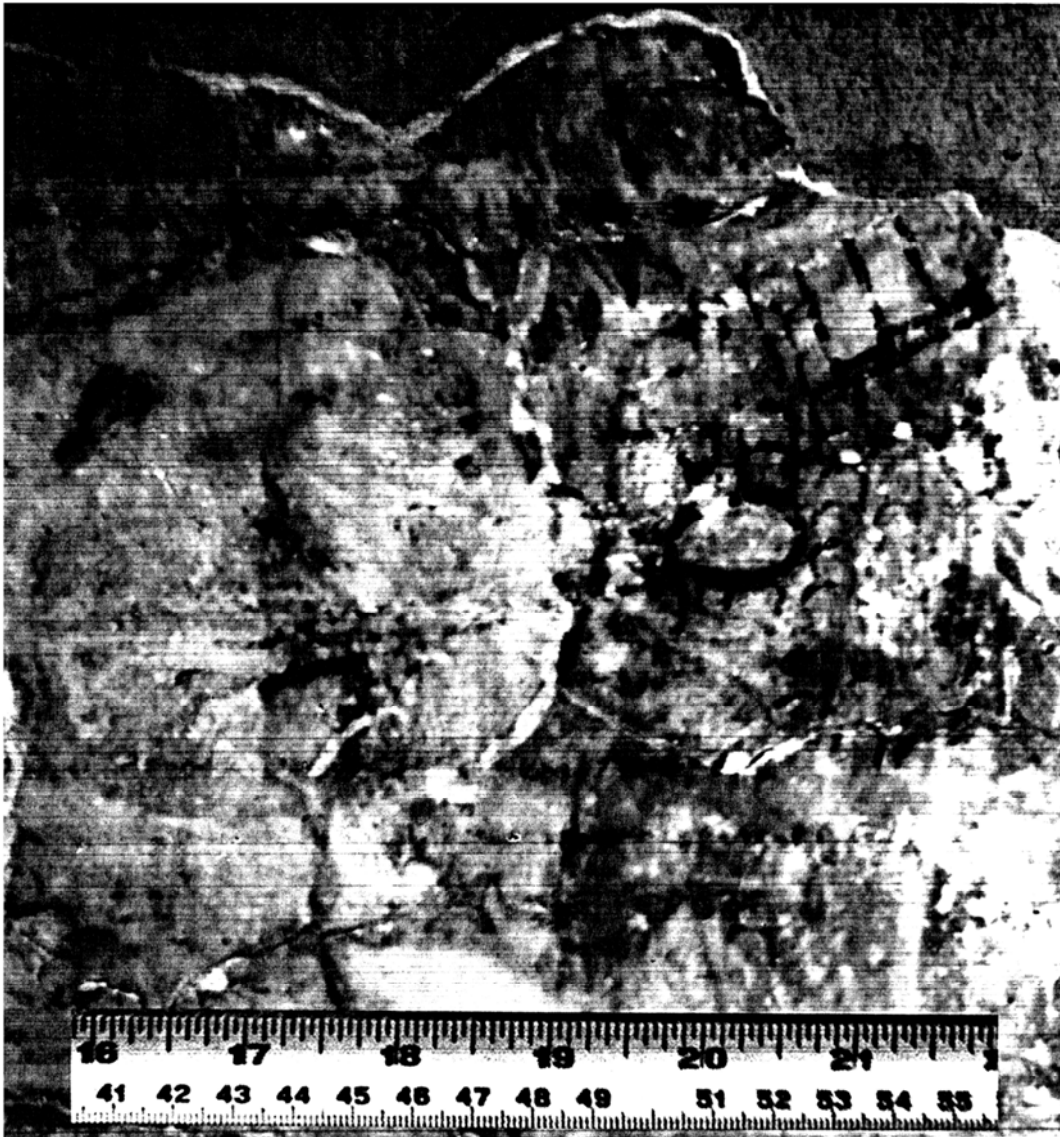


Figura 4 Imagen infrarrojo en 830 nm del Fragmento 2, ilustrando la pintura de carbón que está bajo la superficie

MOTIVACIÓN

La percepción visual de un objeto se determina por la luz que refleja o que produce ese objeto. Limitándonos a la primera situación, la luz observada se puede expresar como:

$$C(\tilde{\epsilon}) = r(\tilde{\epsilon})E(\tilde{\epsilon}) \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde $C(\tilde{\epsilon})$ es la energía de la luz observada, $r(\tilde{\epsilon})$ es la habilidad del objeto de reflejar la luz y $E(\tilde{\epsilon})$ es la energía de la luz emitida por un origen (Pratt 1978). Observe que todas estas cantidades son funciones de la longitud de onda de luz $\tilde{\epsilon}$.

Son raros los pigmentos de color que reflejan solamente un pequeño número de longitudes de onda. El reflejo de una gran cantidad de luz es más común. Este reflejo mayor se concentrará alrededor del color percibido. Por ejemplo, un pigmento rojo tendrá un coeficiente de reflejo alto en el área de 650 nm.

Algunos materiales, como diapositivas fotográficas o películas, también tienen propiedades de poder transmitir luz, que se puede expresar como:

$$C(\lambda) = t(\lambda)E(\lambda) \text{ (Ecuación 2)}$$

Donde $C(\lambda)$ es la energía de la luz observada, $t(\lambda)$ es la habilidad del objeto de transmitir la luz y $E(\lambda)$ es la energía de la luz emitida por un origen (Pratt 1978). Se pueden encontrar varios materiales que se opacan en ciertas longitudes de ondas pero que son transparentes en otras. Esto es una característica deseable como lo explicaremos a continuación.

La luz infrarroja (IR), aunque no se detecta con el ojo, se puede medir usando filtros y sensores ópticos adecuados. Así, las imágenes que se adquieren en el espectro infrarrojo nos pueden dar información que antes no podíamos ver. Para entender cómo las imágenes IR nos pueden dar información nueva, uno tiene que ver de nuevo las Ecuaciones 1 y 2. Si en cierta longitud de onda (o grupo de longitudes de onda), la habilidad (Ecuación 1) de un pigmento de reflejar va a cero mientras que la habilidad de transmitir (Ecuación 1) va a uno, el material transmite toda la luz internamente y de esta manera se ve transparente. Por lo tanto, la imagen que queda se forma por el reflejo de los materiales opacos abajo de la capa transparente. En la práctica, se ha encontrado que algunos materiales muestran un fenómeno en longitudes de onda que caen dentro del espectro de luz IR.

Digamos que un dibujo se prepara usando solamente dos pigmentos. Si uno de estos dos pigmentos se hace transparente en una parte del espectro de luz, podemos identificar el área donde ese pigmento fue aplicado si observamos donde este cambio de reflejo ocurrió. Otro ejemplo es en el caso donde los dos pigmentos fueron aplicados uno arriba del otro. La capa de arriba puede ser opaca, así no podemos ver la capa de abajo. Pero, si la capa de arriba se ilumina con una frecuencia donde se hace transparente, la otra capa todavía refleja luz, la capa de abajo se puede ver y así lo detectamos (Kamal 1998).

La siguiente pregunta que sale es, aun cuando lo detectamos, ¿cómo usaremos esta nueva información IR? El cerebro no utiliza la luz IR para construir colores. Una manera sencilla de enseñar la imagen sería en diferentes grados del color gris (sería como ver una televisión en blanco y negro), esto se conoce como una imagen de escala gris. Esto normalmente nos ayuda mucho, pero nos gustaría tomar otro paso con ello y tratar de agregar la información tomada del espectro de luz visible con la información tomada de las imágenes IR para formar una nueva imagen mejorada de color que se parece mucho a los colores originales del objeto de estudio. Las próximas secciones demostrarán un ejemplo de cómo las ideas que hemos mencionado se pueden usar y explicaré algunas soluciones al problema de combinar dos tipos de información.

PROCEDIMIENTO: ADQUIRIENDO INFORMACIÓN Y PROCESAMIENTO

Las imágenes se adquirieron usando la cámara KODAK MEGAPLUS (modelo 4.2I), que tiene una resolución de píxeles de 2024*2044. Dos grupos de información se adquirieron usando dos filtros en la cámara. El primer grupo de información se obtuvo usando un filtro RGB de Cambridge Research & Instrumentation. Este filtro nos da tres componentes básicos de colores, que cuando se combinan nos dan una imagen que es idéntica a las que se obtuvieron usando una foto de color.

El segundo grupo es de información IR que se adquirió usando un filtro IR "VariSpec" de Cambridge Research & Instrumentation. Imágenes fueron adquiridas de longitudes de onda empezando en 690 nm y terminando con 1050 nm, afinados a longitudes de onda a cada 20nm.

Debido a que las imágenes se adquirieron y se archivaron en forma digital, las operaciones de sumar, restar y de transformación se pueden hacer fácilmente. Otra operación que se necesita en muchos pasos del procesamiento de imágenes es la manipulación del histograma. Cambio del histograma no nos da información nueva y si no se usa apropiadamente se pierde información.

El beneficio de la manipulación de histogramas es en la representación visual de la información. Esto se hace de varias maneras, dentro de ellos se usan todos los valores de píxeles (0 a 255 en imágenes "8-bit" en escala gris).

MÉTODOS PROPUESTOS PARA AGREGAR

Uno de los objetivos de esta investigación fue para encontrar técnicas para agregar la información de color obtenida del espectro visible con la información nueva que se sacó de la información de la imagen IR. Las figuras 5 y 6 son un resumen de los dos métodos propuestos para resolver este problema. Los componentes Rojo\Verde\Azul (RGB) se transforman a otro plano de color equivalente.

Solamente los planos de color YIW y HSV fueron considerados para este trabajo. El componente luminoso resultante (llamados los componentes Y y V en las representaciones YIQ y HSV respectivamente), se cambia por el componente hecho de la información IR.

Dense cuenta que toda la información (color y saturación) no queda afectado por este cambio. Esto es debido a que la información se preserva en los otros dos componentes de los planos de color. El siguiente paso es tomar el inverso de la transformación para poder tener la imagen en el plano de color RGB para verlo. Llegando a este punto, unas manipulaciones simples del histograma se necesita para balancear el color. Esto se logra fácilmente con programas de computadoras comunes como Adobe Photoshop.

La segunda técnica que proponemos se trata del uso de Análisis del Componente Principal (PCA). Como la figura 6 indica, PCA tiene casi la misma estructura que se usó en el método de transformación. La matriz de transformación PCA no está fija, depende de las estadísticas de la imagen. Dense cuenta que el primer componente de la PCA es el que se cambió por el componente IR. Esta es la razón por la cual creemos que el primer componente tiene más energía que los otros dos.

El método de construir el componente IR es directo, pero tarda mucho. Se necesita quitar mucho para que la parte iluminada del componente nuevo sea igual que la parte iluminada original que se obtuvo de los componentes RGB. Esto se necesita para no salir del cubo de color RGB cuando se hace el inverso de la transformación.

RESULTADOS

Nuestro equipo logró tomar imágenes de dos fragmentos del mural. Para que sea más fácil, llamaremos al primero Fragmento 1 y al segundo, Fragmento 2. La figura 7 nos enseña la representación de la imagen con filtro RGB para el Fragmento 1, como se obtuvo combinando la información de tres planos focales del filtro RGB en Adobe Photoshop y ajustando el histograma para llenar todo el espectro.

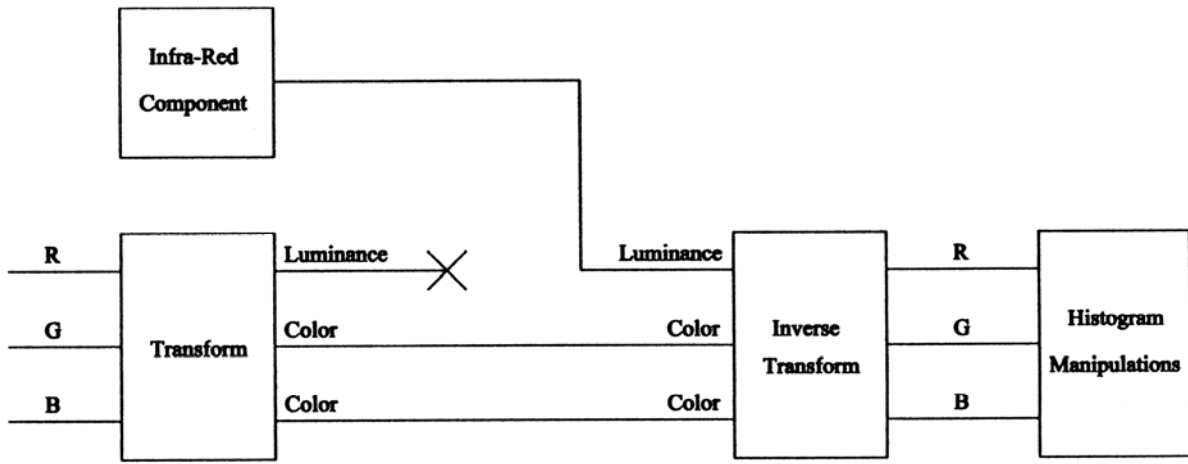


Figura 5 El método de unir la transformación

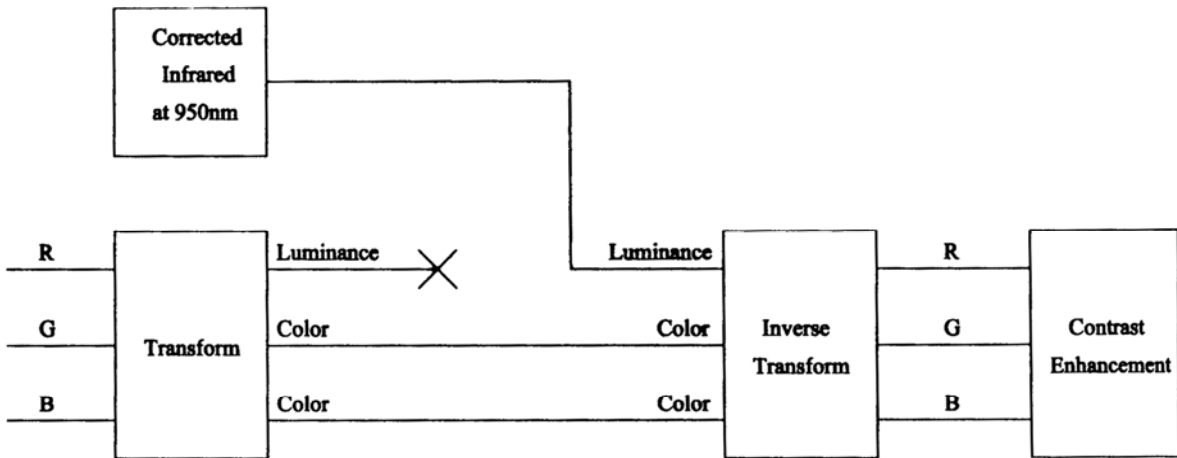


Figura 6 El método de unir a los componentes principales



Figura 7 Fragmento 1: RGB Original

Se nota en las imágenes RGB adquiridas que los pigmentos verde-oscuros se hicieron más transparentes mientras que la longitud de onda se incrementó. Con tomas de imágenes de RGB e Infrarrojo, obtuvimos diferencias entre pares de imágenes simplemente restando uno del otro, agregando suficiente compensación y luego ajustando el histograma. Por observación, es claro que algunas de las diferencias de imagen contienen detalles analíticos que podemos usar. La figura 8 nos muestra la imagen de la diferencia que se obtuvo restando la imagen de 710 nm de la imagen de 790 nm. Obsérvese cómo la imagen de diferencia mejora las áreas donde pintaron con pigmento verde oscuro. La parte baja a la izquierda de la figura 8 nos enseña mucho detalle, incluyendo detalles de adornos de jade y el marco dorsal en la forma de *wit's* o cerro con una serpiente. Otras imágenes mejoradas mostraron muy claramente adornos de cabeza con plumas, el perfil de una máscara de jade que cuelga del cuello, un elemento que sirve para balancear un arete, los detalles del marco dorsal y la resolución del adorno en la cabeza de la figura de la deidad. La figura 9 se hizo restando las imágenes de 930 nm y 1050 nm. La imagen de diferencia contiene la información de los pigmentos rojo-café. Esta información da silueta a la cara (centro) y al bastón blanco (abajo a la derecha) y también a detalles en la esquina abajo a la izquierda. Esta es la capa que formó el fondo y detalles agregados para partes del marco dorsal. Aparte de los detalles, las técnicas de imagen que se utilizan aquí permiten la posibilidad de enfocar diferentes niveles de la pintura, permitiendo así a los investigadores distinguir los diferentes tipos de pintura, por medio del uso de la escala de la longitud de onda. La falta de "marcas de pausa", una parte de la técnica del fresco verdadero, da credibilidad a la información que Magaloni *et al.* (1996:165-166) dio al decir que la pintura Maya es mayormente seca, con pigmentos pegados a la pared con polisacáridos como el jugo de fruta y el jugo glutinoso del árbol Chaca o "Indio Desnudo" (*Bursera simaruba*). Este pegamento se hizo más fuerte con un método nuevo de hidratación para el estuco, que se mezcla rápidamente con aditivos de celulosa, en un proceso similar a la de preparar comida de maíz (Magaloni 1997:6-8).

Los colores planos y la pintura ancha propone que los murales de La Pasadita se terminaron en tiempo relativamente corto, sin ninguna evidencia de obra con cepillo milimétrico que se encuentra en algunos cuartos en Bonampak. Imágenes infrarrojas del Fragmento 2, indican que los trazos del fondo rojo son casi de un centímetro (probablemente del ancho de un cepillo) y sigue siluetas de las figuras en una forma rápida y sobresaliente.

Una imagen en escala gris que contiene detalles de las dos imágenes de diferencia fue construida poniendo una imagen de diferencia arriba de la otra, las figuras 8 y 9, usando un código sencillo escrito en Matlab y después ajustando el histograma. Los métodos de unión de que se ha hablado arriba fueron aplicados para reconstruir una imagen mejorada de color del Fragmento 1. El resultado se ve en la figura 10. Esta imagen nos da una buena impresión de la pintura luminosa y la paleta sencilla de las murales de La Pasadita. Magaloni *et al.* (1996:162-163) detectó más de 20 tonos en los murales de Bonampak, aunque contienen muchas más figuras y cubren un área más grande que los fragmentos de La Pasadita. Un estudio semántico de los colores del fondo y los elementos del borde todavía no se ha hecho en la región Maya, pero seguimos dudando que el tipo de pintura relaciona el tiempo del día o la calidad de la luz en el ambiente (Magaloni *et al.* 1996:164): en vez de los naturalistas referentes, los fondos rojos son más comunes en el estilo de la pintura local con referencias semánticas o estéticas que requieren composición por la historia de la pintura cerámica.

Los mismos pasos de imagen fueron aplicados al Fragmento 2. La figura 11 nos enseña la imagen original RGB. La figura 12 nos enseña la imagen de diferencia obtenida restando la imagen IR a 710 nm de la de 1010 nm, mientras que la figura 13 nos da la diferencia entre la imagen IR a 710 nm y la imagen componente Verde obtenido del filtro RGB. La primera imagen de diferencia nos da las áreas donde los pigmentos verde oscuro se usaron. En los detalles al centro de la imagen se muestra una flor o *nikte*, la cual no se observa a simple vista.

La segunda imagen de diferencia muestra los pigmentos rojo-café. Se nota la silueta del ojo y la nariz, junto con las características que se ven en la parte de en medio. De nuevo, los colores se pueden separar distintamente uno de los otros. Una imagen infrarroja también nos da la diferencia de las técnicas de pintura en el Fragmento 1: como se mencionó antes, la pintura de carbón que está abajo define las características de la cara y unas áreas de los ornamentos en el cuello, tal vez esto sea para que se defina mejor esta figura o también posiblemente como la marca de otro artista.

Como en el caso del Fragmento 1, se construyó una imagen de escala gris que contiene los detalles que se encontraron en las dos imágenes de diferencia. Esto se usó como la información IR para los métodos de unificación de que se ha hablado previamente. La figura 14 nos enseña la imagen reconstruida de color que resultó.

Las reconstrucciones en color del Fragmento 1 y Fragmento 2 se obtuvieron usando el método de transformación HSV. Los otros métodos de unificación mencionados producen resultados equivalentes en términos de unificación de la información, pero el método HSV era más fácil de usar debido a la capacidad de proyectar colores. La reconstrucción a color que resultó no necesitó mucho equilibrio de color comparado a los otros métodos, debido a que los colores casi retuvieron su sombra original (Kamal 1998).

CONCLUSIONES

Aunque esta investigación todavía está empezando, demuestra el valor del procesamiento de imágenes multi-espectrales para el mundo arqueológico. El equipo para tomar imágenes se puede transportar a cualquier lugar, como algunos de nosotros hemos confirmado en conexión con esta investigación en el sitio donde están las pinturas (Brady *et al.* 1997; Ware *et al.* s.f.).

Es obvio por los resultados presentados previamente, que algunas características han mejorado mucho, desde el éxito en la delineación de la orilla a la aclaración de los detalles iconográficos. La falta de textos jeroglíficos en los encabezamientos muestra la falta de pintura y no la vaguedad de poder verlos. Así como en los murales de Bonampak, las pinturas de La Pasadita parecen combinar la atención por terminar con la poca atención a las figuras. ¿No se terminaron las pinturas?, ¿o fue inconveniente, por razones políticas, identificar a los personajes en el baile del solsticio? Una solución al problema en Bonampak también iluminará a las pinturas en La Pasadita.

Es necesario hacer otros estudios con propiedades que cambien, en diferentes sub-estilos de tratamiento y pigmentación artística. Lo que se necesita son otras situaciones para poder investigarlas, incluyendo algunas que estén en etapas de planificación. Esta investigación se enfocará en una sola tradición étnica de pintura – la de los antiguos Mayas– por lo cual desde ya contamos con un buen control cronológico, semántico y una cantidad de datos de composición, que está creciendo. Gracias a todo esto se podrá lograr un acercamiento sofisticado y científico de utilidad para la documentación y estudio de imágenes antiguas en Mesoamérica.



Figura 8 Fragmento 1: diferencia entre 790 nm y 710 nm



Figura 9 Fragmento 1: diferencia entre 930 nm y 1050 nm



Figura 10 Fragmento 1: reconstrucción en color



Figura 11 Fragmento 2: RGB Original



Figura 12 Fragmento 2: diferencia entre 710 nm y 1010 nm

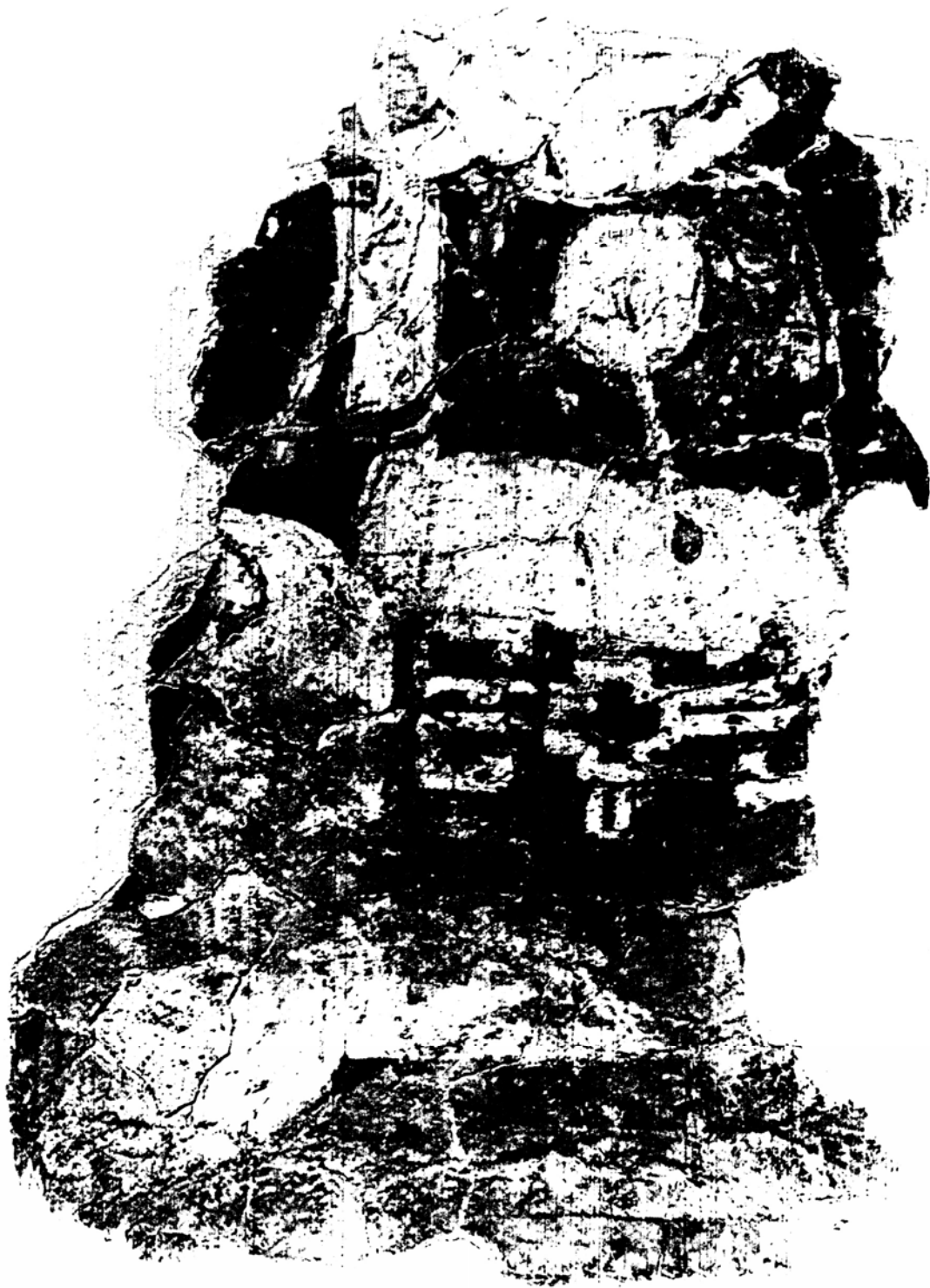


Figura 13 Fragmento 2: diferencia entre 710 nm y el componente verde



Figura 14 Fragmento 2: reconstrucción en color

REFERENCIAS

- Brady, James E., Gene Ware, Barbara Luke, Allan Cobb, John Fogarty y Beverly Shade
1997 Preclassic Cave Utilization near Cobanerita, San Benito, Peten. *Mexicon* 19 (5):91-96.
- Cambridge Research an Instrumentation, Inc. (CRI)
1995a *ARISPEC Tunable Filter Users Manual*.

1995b Curves supplied by technical support staff.
- Foley, J.D. y A. Van Dam
1982 *Fundamentals of Interactive Computer Graphics*. Addison-Wesley.
- Jain, A.K.
1989 *Fundamentals of Digital Image Processing*. Prentice Hall.
- Kamal, O.S.
1998 *Multispectral Image Processing for Detail Enhancement of Ancient Maya Codices and Murals*. Tesis de Maestría, Brigham Young University, Provo.
- Logicon Geodynamics Inc.
1997 *Multispectral Imagery Reference Guide*.
- Magaloni Kerpel, Diana
1997 La cal y los Mayas: un ejemplo de la necesidad de contextualizar la investigación sobre el México Prehispánico. *La Pintura Mural Prehispánica en México* 3 (6):5-8.
- Magaloni Kerpel, Diana, Richard Newman, Leticia Baños y Tatiana Falcón
1996 Los pintores de Bonampak, En *Eighth Palenque Round Table, 1993* (editado por M.J. Macri y J. McHarque):159-168. Pre-Columbian Art Research Institute, San Francisco.
- Miller, Mary Ellen
1986 *The Murals of Bonampak*. Princeton University Press, Princeton.

1995 Maya Masterpiece Revealed at Bonampak. *National Geographic* 187 (2):50-69.
- Pratt, W.
1978 *Digital Image Processing*. John Wiley and Sons.
- Richards, J.A.
1986 *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer-Verlag.
- Singh, A., Harrison A.
1985 Standardized Principal Components. *International Journal of Remote Sensing* 6 (6):883-896.
- Smith A.R.
1978 Color Gamut Transform Pairs. SIGGRAPH '78 Proceedings published as *Computer Graphics* 12 (3):12-19.
- Ware G., S. Houston, D. Chabries, M.E. Miller, K. Taube, B. de la Fuente, W. Barrett y K. Duffin
s.f. Infrared Imaging of Precolombian Murals at Bonampak, Chiapas, Mexico: An Interdisciplinary Perspective on Ancient Art. Manuscrito a publicarse en *Antiquity*.