

La realidad aumentada como herramienta para entornos geográficos virtuales

Augmented reality as a tool for virtual geographic environments

Lina Marcela García Moreno¹, Euclides Barandica Zemanate²,
Humberto Loaiza Correa³, Jean Pierre Díaz Paz⁴

Resumen

Un entorno geográfico virtual, como herramienta para visualizar e interactuar con la información geográfica, facilita la interpretación de datos espaciales, contrario a la experiencia del usuario frente a valores y figuras plasmadas en papel. En este artículo se presenta un método para fusionar y visualizar superficies y ortofotos sobre planos topográficos mediante técnicas de realidad aumentada adaptadas para su uso con datos georreferenciados que facilitan la interacción humano-máquina en ámbitos geográficos. Sobre el lenguaje Matlab, se desarrolló una aplicación para integrar las superficies y los planos mediante el seguimiento de puntos característicos en el espacio de color HSV con redes neuronales. Se definió un protocolo de prueba y se evaluó la aplicación con una base de datos compuesta por nubes de puntos y ortofotos de un sector del municipio de Versalles, departamento del Valle del Cauca. La aplicación se evaluó con un enfoque cualitativo para establecer la experiencia del usuario a través de diferentes características de los elementos virtuales utilizados, como la apariencia, la luminosidad requerida y la interacción, entre otros, y con un enfoque cuantitativo para establecer la precisión de la visualización generada por el procedimiento de integración. Las pruebas realizadas al sistema muestran un 91,48% de satisfacción para imágenes estáticas en la introducción de la superficie virtual en la cartografía y un error promedio de posicionamiento de 6° en azimut y 3,5° en elevación. De acuerdo con la experiencia de los usuarios, la aplicación desarrollada facilita la interpretación de ortofotos georreferenciadas.

Palabras clave: fotointerpretación, ortofotos, 3D, planos topográficos, georreferenciación.

¹ Ing. Universidad del Valle. Correo: lina.m.garcia@correounivalle.edu.co.

² Ing. Universidad del Valle. Correo: euclides.barandica@correounivalle.edu.co.

³ PhD Universidad del Valle. Correo: humberto.loaiza@correounivalle.edu.co.

⁴ Ing. Universidad del Valle. Correo: jean.diaz@correounivalle.edu.co.





Abstract

A virtual geographic environment, as a viewing and interaction tool, facilitates the interpretation of special data, contrary to the experience on flat figures. We present a method to fuse and view digital surfaces and ortophotos over topographic planes by using augmented reality techniques adapted to be used with georeferenced data and facilitating human-machine interaction in geographical works. We developed a Matlab tool to integrate surfaces and planes by tracking feature points in the color space HSV with neural networks. We designed a test protocol and assessed the tool by using a dataset composed by point clouds and ortophotos from a section of the municipality Versalles, department Valle del Cauca in Colombia. The evaluation was qualitative for user experience by assessing different virtual elements like: appearance, required illumination, etc. The evaluation was quantitative to test the viewing precision by the integration method. The tests show a user satisfaction of 91.48% for static images and a mean error of 6° for azimuth and 3.5° for elevation. The evaluation shows that the developed method facilitates the interpretation of georeferenced ortophotos.

Keywords: photointerpretation, orthophoto, 3D, topographic plans, geo-referenced.



Introducción

Actualmente, las ideas se visualizan y representan de múltiples formas. Esto se ha logrado, en parte, con imágenes digitales y con la creación de objetos tridimensionales en sistemas que simulan un espacio, como las tecnologías de diseño asistido por computadora CAD. Sin embargo, estas tecnologías no representan a cabalidad el mundo real y sus diferentes perspectivas (Lara & Villarreal, 2004). Las tecnologías de diseño CAD son la base de los modelos virtuales que corresponden en similitud a las estructuras originales en el medio real, por lo cual son la plataforma principal para el cambio de características físicas de los objetos en formato virtual (Fonseca, Martí, Redondo, Navarro & Sánchez, 2014). Al integrar, a través de realidad aumentada, los modelos virtuales con los entornos reales se permiten, en el contexto de los entornos geográficos virtuales, la descripción, el análisis y la caracterización de la superficie (Ruiz, Urdiales Fernández-Ruiz & Sandoval, 2004).

La realidad aumentada es una variación de los ambientes virtuales que habilita al usuario para percibir un entorno real con inserción de objetos virtuales (Nájera Gutiérrez, 2009). Esta situación impacta positivamente en la toma de decisiones (Ruiz et al., 2004) en las etapas de materialización, planificación, cumplimiento de diseños planteados y mantenimiento (Klinker, Stricker & Reinert, 2001). Además, si los objetos se encuentran georreferenciados, se facilita la relación entre la máquina, el usuario, el entorno y el territorio (Coelho & Bähr, 2005; Olalde, García & Seco, 2013), tal como sucede en los entornos geográficos virtuales.

Los entornos geográficos virtuales están conformados por bases de datos, modelación, simulación y un componente interactivo. Estas partes se integran para permitir la exploración del territorio y de los diversos cambios que se presentan sobre este (Liu & Hao, 2010). En la actualidad, el aumento de tecnologías inmersivas, como las gafas de realidad virtual, ha impulsado el desarrollo de estos entornos para visualizar datos geoespaciales integrados con sistemas de información geográfica (GIS, por la sigla en inglés de Geographic Information System) y otras tecnologías de información de manera simultánea, reorientándose hacia métodos multimodales de interacción hombre-máquina.

En Latinoamérica, el uso de realidad aumentada ha impulsado el desarrollo de actividades que facilitan el aprendizaje debido a su capacidad de interacción (Malbos, Rochadel, De Lima & Da Silva, 2014). A su vez, en las ciencias geodésicas ha sido usada para establecer puntos de interés con información relevante (Silva & Silva, 2012) y mejorar la interpretación de cartografía (Uceda, 2014).

A nivel nacional, el desarrollo de esta herramienta se ha dado en investigaciones en ciencias médicas referentes a la cardiología (Ortiz Rangel, 2011), para la visualización de información urbana georreferenciada, por parte del grupo Imagine de la Universidad de los Andes (Wilches & Figueroa, 2011), para la localización de sitios turísticos en la Universidad Nueva Granada, implementando realidad aumentada (Callejas, Quiroga & Alarcón, 2011) y en sistemas georreferenciados de realidad aumentada con dispositivos móviles como herramienta (Leguizamón, Gaviria & Rodríguez, 2012).





En la siguiente sección se describe el sistema de realidad aumentada que se implementó como un componente interactivo para los entornos geográficos virtuales; en la sección 3 se presentan las pruebas y los resultados que permiten evaluar y validar el funcionamiento del sistema y, finalmente, en sección 4 se presenta las conclusiones.

Sistema de realidad aumentada para entornos geográficos virtuales

El esquema de la figura 1 presenta las etapas básicas para la implementación de realidad aumentada. Inicialmente, se realiza un registro de señales del mundo real mediante una cámara digital. Estas imágenes se procesan para encontrar la correspondencia geométrica que permita estimar la posición y orientación que tiene el usuario. Posteriormente, se transforman los elementos virtuales en conjunto con las imágenes reales para alinear los mundos. Finalmente se realiza la visualización, permitiendo así que el usuario perciba la integración de las superficies virtuales en el entorno real (Lara & Villarreal, 2004).

Para integrar el concepto de realidad aumentada al trabajo cartográfico, se desarrolló una plataforma y una aplicación de software que permiten que el usuario explore el territorio representado en un plano topográfico.

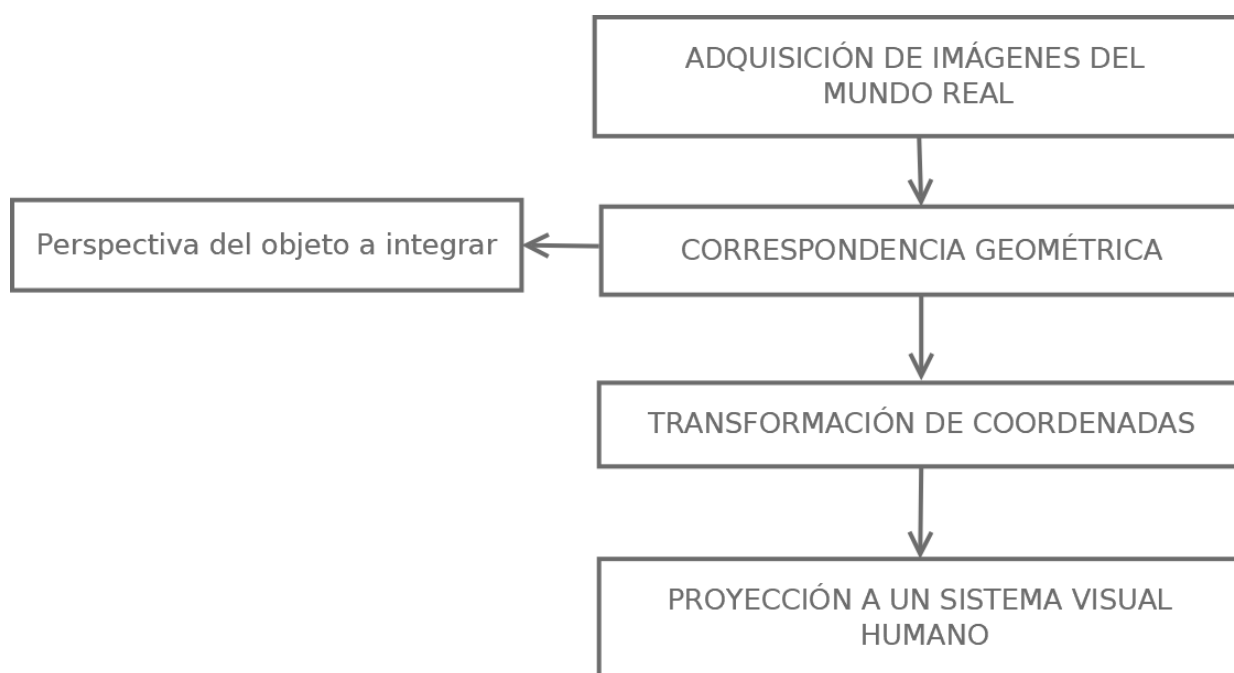


Figura 1. Diagrama general para la implementación de realidad aumentada
Fuente: elaboración propia.

Plataforma experimental

La plataforma desarrollada permite la integración del ambiente de trabajo con la superficie generada al fusionar un modelo de elevaciones con ortofotos en espectro visible para facilitar la interpretación de las características del terreno. El prototipo consta de una cámara web, un plano topográfico, una plantilla de marcadores y una unidad de procesamiento (figura 2).



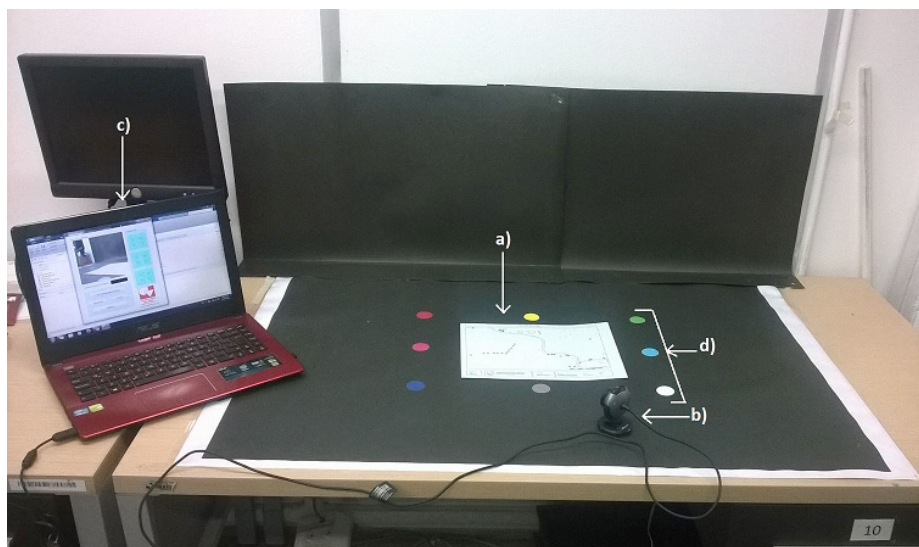


Figura 2. Configuración física de la plataforma: a) plano topográfico, b) cámara web, c) computador y d) plantilla de marcadores
Fuente: elaboración propia.

La cámara captura imágenes del entorno, compuesto por los marcadores, el plano topográfico y el fondo. Las imágenes son la fuente de información sobre la que se visualiza de la superficie virtual con una perspectiva determinada por el usuario. Se usó una cámara Microsoft LifeCam VX-3000 con resolución de 1280 x 960 píxeles y velocidad de captura de 30 fps.

Los planos topográficos contienen, junto con otro tipo de información, la altimetría codificada de acuerdo con las convenciones de las curvas de nivel. En este prototipo se usaron 12 planos topográficos a escala 1:525 del municipio de Versalles, ubicado en el departamento del Valle del Cauca. Estos permitieron su comparación con la superficie tridimensional correspondiente.

La plantilla de marcadores se usó para estimar los parámetros extrínsecos de la cámara respecto al sistema de coordenadas del plano topográfico, es decir, la posición y orientación de la cámara. Nájera Gutiérrez (2009) sugiere usar al menos seis puntos con correspondencia bidimensional y tridimensional al estimar los parámetros extrínsecos, por lo cual, y para no elevar el costo computacional en el cálculo de los parámetros extrínsecos, se usaron ocho marcadores circulares de colores fácilmente diferenciables, como se muestra en la figura 3.

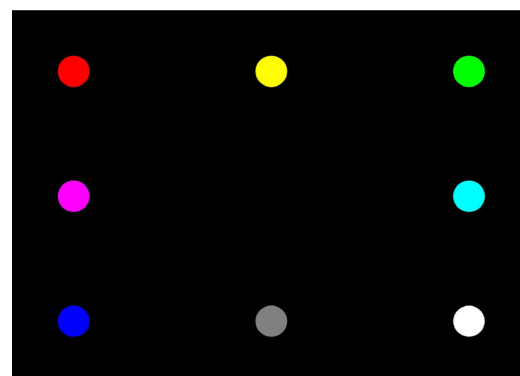


Figura 3. Plantilla de marcadores.
Fuente: elaboración propia.

Todos los datos se procesan, almacenan y visualizan en un computador con las siguientes características: procesador Intel Core i5-3337U a 1.8 GHz, memoria RAM de 6 GB, HDD de 1 TB, tarjeta graficadora de 2 GB y pantalla de 14" configurada para visualizar a 1366 x 768 píxeles.



Implementación de la etapa de realidad aumentada

La figura 4 ilustra la aplicación desarrollada para interactuar con los entornos geográficos virtuales a través de realidad aumentada.

En la etapa de preprocesamiento, las imágenes adquiridas con la cámara web se filtran, banda por banda, con un filtro mediana de kernel 3 x 3. La imagen filtrada se convierte al espacio de color HSV y se asigna cero a la componente V en los píxeles cuyo valor sea menor al promedio sobre toda la imagen, como se presenta en la figura 5. Finalmente, las imágenes se regresan al espacio de color RGB y se corrigen geométricamente con el modelo interno de la cámara. Este modelo se encontró con la aplicación de calibración de Matlab, que se basa en los métodos de Heikkila y Silven (1997) y Zhang (2000).

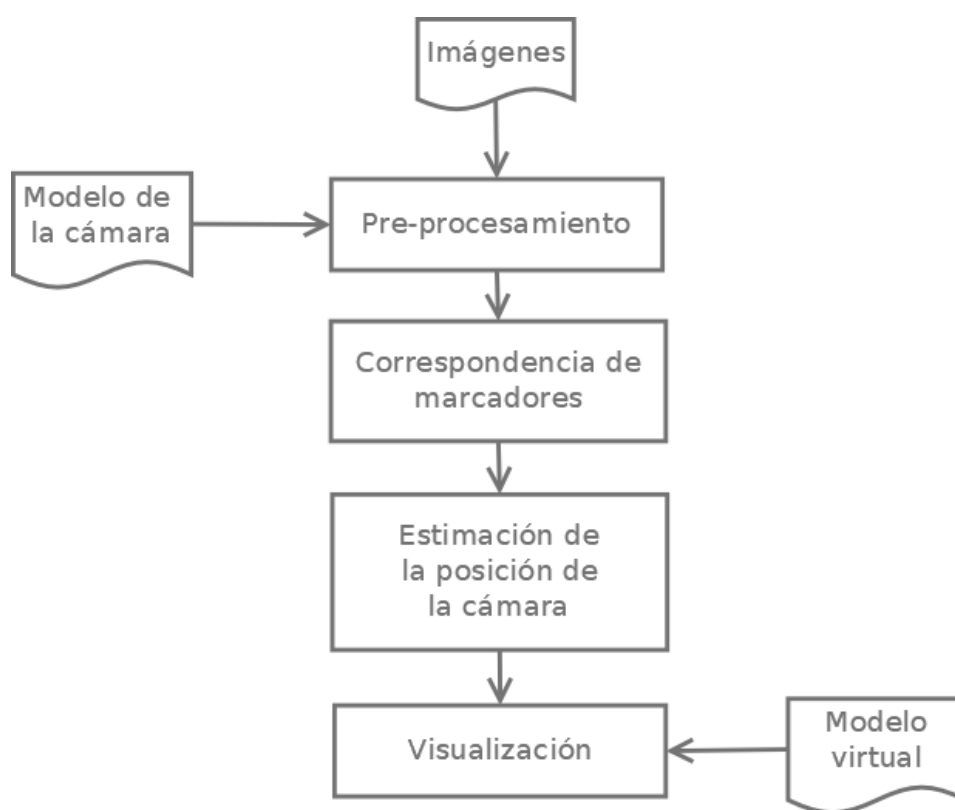


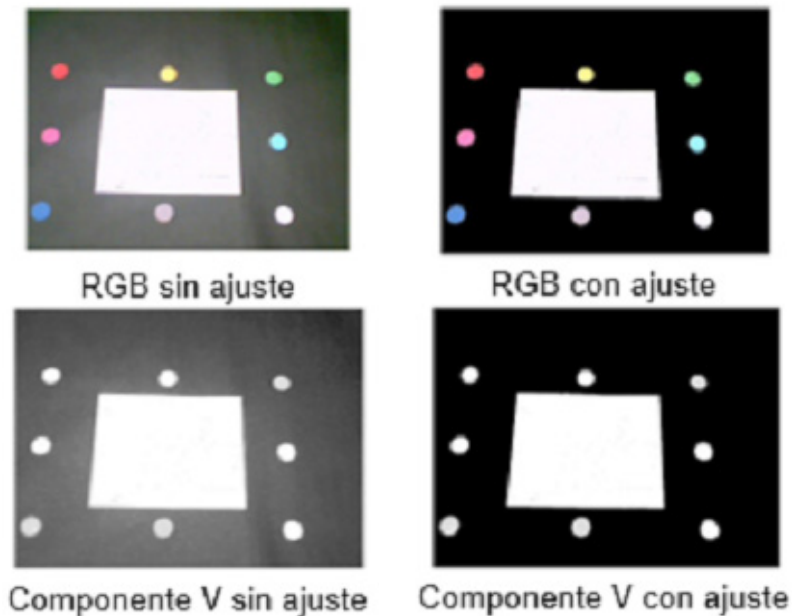
Figura 4. Diagrama de procesamientos del sistema
Fuente: elaboración propia.

En la etapa de correspondencia de marcadores, inicialmente, se realiza una detección de los marcadores y el plano cartográfico en la imagen corregida mediante una umbralización banda por banda. Luego, se caracteriza cada objeto detectado usando las componentes HSV promedio. Basado en estas características, un clasificador reconoce el color de cada marcador para asociar una coordenada geográfica a su centroide.



En el desarrollo del clasificador se utilizó una red neuronal tipo feed forward con tres nodos en su capa de entrada, 10 neuronas en la capa oculta con función de activación tangente sigmoideal y 8 neuronas en la capa de salida con función de activación lineal. Las características de entrada corresponden a los descriptores de cada marcador y las salidas a la asignación de color en la plantilla.

La estimación de la posición y orientación de la cámara, en el sistema de coordenadas de la plataforma, se realiza a través del método de Heikkila y Silven (1997) y Zhang (2000), y el modelo de la cámara de Pinhole, ecuaciones 2.1, 2.2 y 2.3.



$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} \quad (2-1)$$

$$\begin{bmatrix} \hat{u}_i \\ \hat{v}_i \end{bmatrix} = \frac{f}{z_i} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} \quad (2-2)$$

$$\begin{bmatrix} u_i \\ v_i \end{bmatrix} = T \left(\begin{bmatrix} \hat{u}_i \\ \hat{v}_i \end{bmatrix} \right) \quad (2-3)$$

Figura 5. Corrección de brillo
Fuente: elaboración propia.

Donde:

x_i, y_i, z_i : coordenadas del marcador i en el sistema coordenado de la cámara.

X_i, Y_i, Z_i : sistema coordenado de la plataforma experimental.

m : parámetros de rotación de la cámara respecto a la plataforma.

x_0, y_0, z_0 : origen de la plataforma en el sistema coordenado de la cámara.

$\hat{u}_i, \hat{v}_i$: proyección de un punto en el plano de la imagen.

f : punto focal.

u_i, v_i : coordenadas imagen del marcador i .

T : transformación que considera los parámetros intrínsecos de la cámara, como distancia focal, factor de escala, punto principal y coeficientes de distorsión.

Dadas las transformaciones entre los diferentes sistemas coordenados que intervienen en el proceso (cámara, plataforma e imagen), se estima la posición de la cámara (x_c, y_c, z_c) respecto al origen de visualización de la plataforma (ecuación 2.4) y se representa en la visualización de la superficie, dados un azimuth (θ_c) y una elevación (δ_c) (ecuaciones 2.5 y 2.6) asociados a la perspectiva de la cámara respecto a la cartografía visualizada, tal como se esquematiza en la figura 6.





$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} \quad (2-4)$$

$$\theta_c = \tan^{-1} \left(\frac{z_c}{x_c} \right) \quad (2-5)$$

$$\delta_i = \tan^{-1} \sqrt{\frac{x_c^2 + z_c^2}{y_c}} \quad (2-6)$$

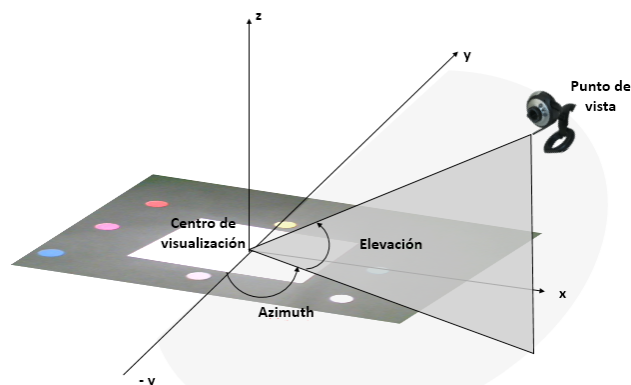


Figura 6. Posición de la cámara respecto a la plataforma experimental
Fuente: elaboración propia.

Finalmente, en la etapa de visualización se complementa la interacción del usuario al permitirle la interpretación de la cartografía. Esto se logra mediante la proyección del modelo virtual de la superficie hacia la perspectiva estimada de la cámara. El modelo virtual se obtiene a partir de una ortofoto y una nube de puntos que representan la superficie georreferenciada y se fusionan usando el método de interpolación media móvil, asignando sus características con un mapa de color de baja resolución para evitar un elevado costo computacional. La figura 7 muestra un modelo virtual.

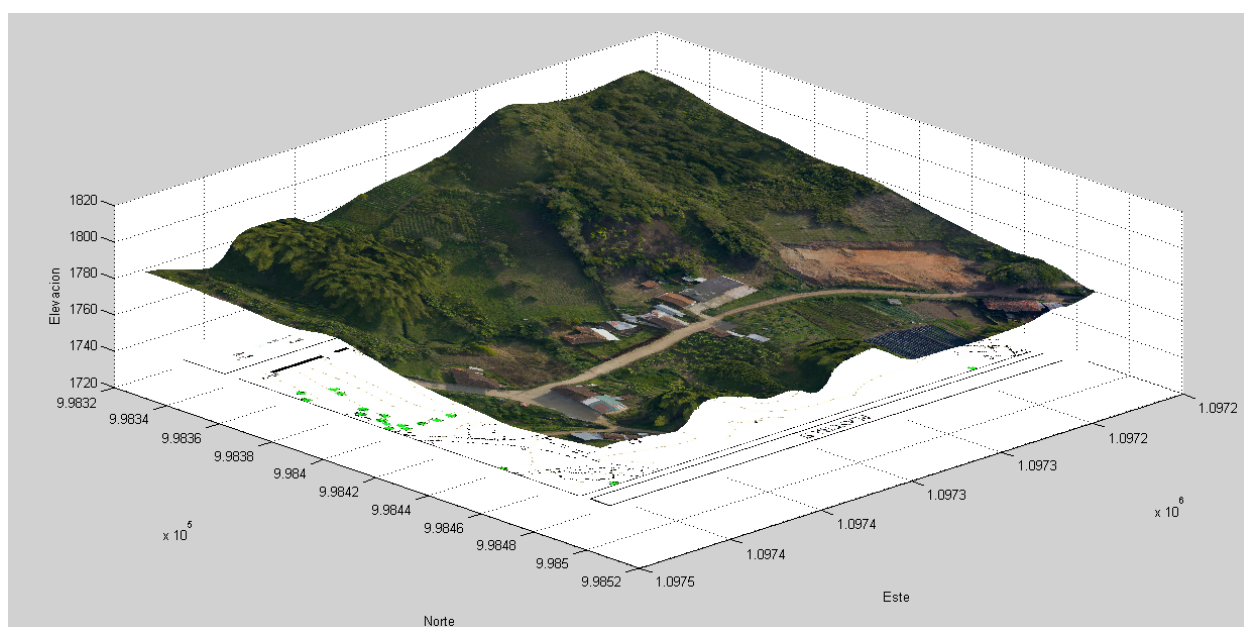


Figura 7. Modelo virtual
Fuente: elaboración propia.

Interfaz de usuario

La visualización del modelo virtual se realiza a través de una interfaz de usuario que permite interpretar la cartografía a partir de la reconstrucción de la superficie desde la posición estimada de la cámara. En la figura 8 se presenta la interfaz, que cuenta con tres modos de ejecución: estático, dinámico y en línea. El modo estático consiste en definir solo una captura desde la cual se desea visualizar la superficie; en el modo dinámico se adquiere un video que se procesa a través de la división por frames y genera como respuesta un video de superficie virtual insertada desde las diferentes perspectivas del usuario. Finalmente, la captura en línea se realiza de manera repetitiva cada cinco segundos hasta que se cumpla con el número total de capturas definidas por el usuario, tomando la perspectiva que se tenga en el momento y generando la visualización de la superficie virtual.

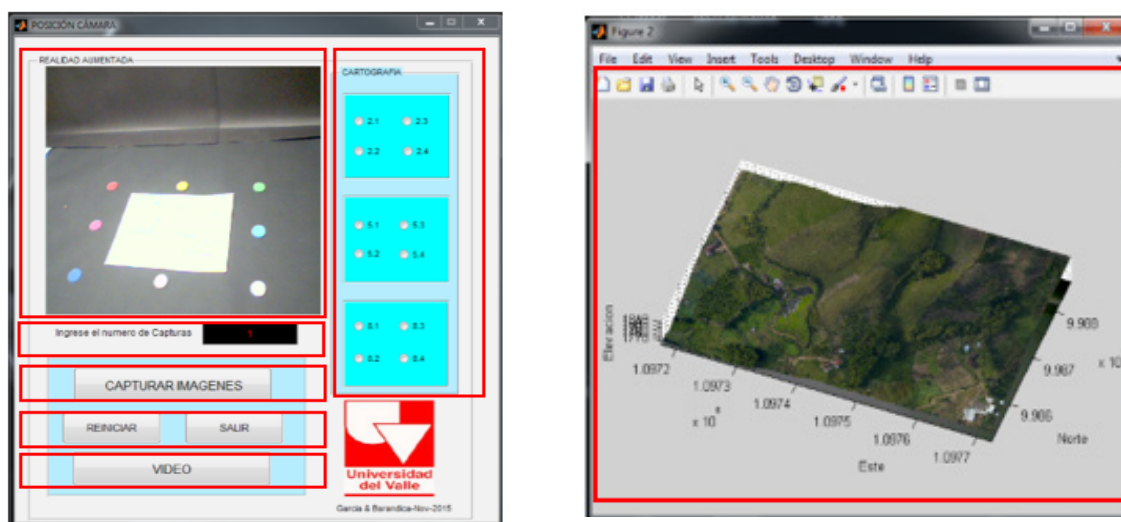


Figura 8. Interfaz de usuario desarrollada
Fuente: elaboración propia.

Resultados

Tradicionalmente, las convenciones utilizadas en las planchas para representar características geográficas presentes en un territorio son abstractas y no proporcionan abundante información sintáctica, por lo que debe ser interpretadas por personal capacitado; esto puede causar lecturas imprecisas debido a las condiciones psicofisiológicas (subjetividad, fatiga o agudeza visual, entre otros).

De otra parte, el sistema de realidad aumentada propuesto permite la visualización de un modelo cartográfico virtual enriquecido mediante la integración de nubes de puntos y ortofotos que aportan información de relieve, forma y color, representando de forma más natural el terreno y facilitando la interpretación de la plancha cartográfica.

Para evaluar el sistema de realidad aumentada, se realizaron pruebas de desempeño del clasificador de marcadores y del estimador de la posición de la cámara. Adicionalmente, se evaluó el tiempo de ejecución en cada modo de operación y la satisfacción de un grupo de veinte usuarios.



Desempeño del clasificador

Se evaluó el desempeño del clasificador implementado usando un data set compuesto por 21 imágenes capturadas en diferentes posiciones y condiciones de iluminación. Se seleccionaron los marcadores sobre las imágenes y se obtuvieron 22.175 muestras con su respectivo color. La figura 9 muestra las componentes H y S de las muestras del data set y su respectivo color.

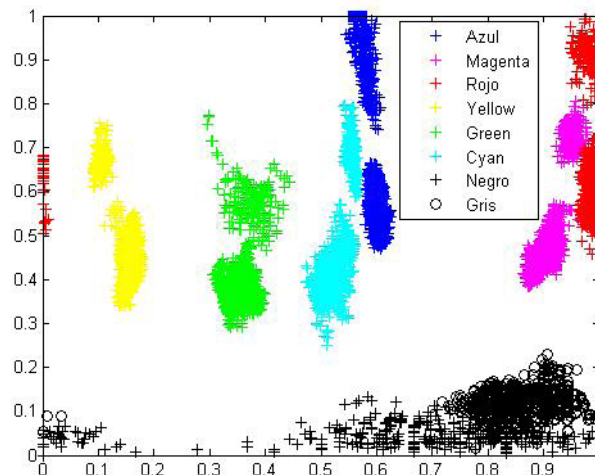


Figura 9. Distribución de la clasificación por redes neuronales
Fuente: elaboración propia.

Del data set creado, se seleccionan aleatoriamente los conjuntos de entrenamiento (70%), validación (15%) y prueba (15%). La red se entrenó seis veces. La matriz de confusión total de la red neuronal (figura 10) presenta un porcentaje de aciertos del 99,9%. El 0,1% restante corresponde a los marcadores con una clasificación errada del color debido al exceso o falta de iluminación, o ángulos de elevación muy bajos en la toma de las imágenes.

		Clases Objetivo								
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Clases de Salida	1	3166 14,3%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	100%
	2	0 0,0%	2959 13,3%	1 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	100%
	3	0 0,0%	1 0,0%	2337 10,5%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	100%
	4	0 0,0%	0 0,0%	7 0,0%	2750 12,4%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	99,7%
	5	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	2422 10,9%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	100%
	6	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	2736 12,3%	0 0,0%	0 0,0%	100%
	7	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	3265 14,7%	3 0,0%	99,9%
	8	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	2 0,0%	2526 11,4%	100%
		100%	100%	99,7%	100%	100%	100%	99,9%	99,9%	99,9%
		0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%

Figura 10. Matriz de confusión total de la red neuronal
Fuente: elaboración propia.



El error promedio calculado entre los ángulos reales y los valores obtenidos al implementar la aplicación corresponden a 6° y $3,5^\circ$ para azimut y elevación respectivamente. Los ángulos 90° y 270° que se encuentran sobre el eje X, es decir, la línea que representa el este, presentan un error promedio igual, que corresponde a 8° . Por otra parte, los ángulos 0° y 180° sobre el eje Y, eje del norte, presentan un error promedio asociado de 4° .

El color blanco incide en los demás colores proporcionando un brillo adicional a la iluminación y afecta a los demás marcadores en el momento de captura, lo que puede ocasionar que los píxeles tengan información errónea; de igual manera, los datos que asocian el brillo al color gris también representan una fuente de error.

Desempeño estimación posición de la cámara

Se dispuso la cámara sobre un trípode con cuatro ángulos de azimut. Los valores reales de elevación y azimut se obtuvieron de mediciones clásicas y propiedades trigonométricas. Estos valores se compararon con los estimados utilizando las ecuaciones 2.3 y 2.4. La tabla 1 lista los errores asociados a cada combinación de posición y orientación.

Tabla 1. Errores en los ángulos representados

<i>Azimut real</i>	<i>Error en azimut calculado</i>	<i>Elevación real</i>	<i>Error en elevación calculado</i>
0°	3°	$33,91^\circ$	4°
90°	8°		5°
180°	5°		1°
270°	8°		4°
Error promedio azimut	6°	Error promedio elevación	$3,5^\circ$

Fuente: elaboración propia.

Tiempo de ejecución por modo de captura

La tabla 2 muestra el tiempo promedio, en segundos, que toma el sistema para procesar una imagen en cada modo de ejecución. El mayor tiempo se encuentra asociado al modo de ejecución en línea, puesto que el sistema se encuentra en funcionamiento constante, contrario al modo en línea, donde se proyecta el modelo virtual desde una sola perspectiva.

Tabla 2. Resultados de tiempo de la ejecución del sistema en segundos

<i>Modo de operación</i>	<i>Estático</i>	<i>Dinámico</i>	<i>En línea</i>
<i>Tiempo por imagen</i>	1,5	11	14

Fuente: elaboración propia.





Experiencia del usuario

Se evaluó la experiencia de 20 usuarios. El 65% de estos tiene formación relacionada con las ciencias de la Tierra, la cartografía, la topografía, los sistemas de información geográfica e infraestructuras de datos espaciales. El 35% restante tiene formación en ciencias de la computación. Cada usuario diligenció el formato de la figura 11 y calificó de 1 a 5 cada atributo, donde 1 equivale a malo y 5 a excelente, para cada modo de ejecución.

FORMATO DE EVALUACIÓN PARA LA VISUALIZACIÓN DE LAS SUPERFICIES VIRTUALES				
ATRIBUTO		ESTÁTICA	DINÁMICA	EN LÍNEA
1	Tiempo de Ejecución.			
2	Luminosidad requerida.			
3	Posición de Cámara y Plano.			
4	Velocidad de Procesamiento.			
5	Apariencia visual Interfaz.			
6	Estabilidad del seguimiento.	N/A		
7	Precisión en unión con el plano.			
8	Posibilidad de interacción con el resultado.		N/A	
9	Sensibilidad al movimiento (Cámara y plano).	N/A		
10	Primera impresión visual y plano.			
TOTAL				

Figura 11. Formato de evaluación para la visualización de las superficies virtuales
Fuente: elaboración propia.

El compendio de resultados obtenidos se muestra en la tabla 3, donde se presentan los mejores puntajes para el modo de ejecución estático. Este valor satisfactorio del 91,48% promedio se relaciona con el bajo costo computacional que arraiga este modo de ejecución, lo que conlleva al usuario a obtener una realimentación más oportuna del modelo virtual. El modo de ejecución dinámico presentó el porcentaje de satisfacción más bajo, puesto que en la evaluación del tiempo de ejecución por parte de los usuarios presento valores bajos, del 57,78%; de igual manera, se relacionó que no se presenta buena estabilidad de seguimiento debido a los cambios bruscos la adquisición del video. La función en línea obtuvo un valor promedio de satisfacción de 85,90%. Se establece que los valores evaluados que disminuyen el desempeño de la aplicación en este modo son el tiempo de ejecución, la estabilidad del seguimiento y la sensibilidad al movimiento, puesto que se debe ser más preciso a la hora de capturar las imágenes, teniendo la precaución de capturar la plantilla de marcadores.

Tabla 3. Resultados de tiempo de la ejecución del sistema en segundos

Modo de operación	Estático	Dinámico	En línea
Estadígrafo			
Promedio	91,48	81,52	85,90
Mínimo	72,50	57,78	68,00
Máximo	100,00	97,70	100,00
Desviación estándar	8,78	9,25	9,23
Mediana	95,00	80,00	87,00

Fuente: elaboración propia.





Conclusiones

Se diseñó un sistema para la visualización georreferenciada en planos topográficos de ortofotos fusionadas con nubes de puntos mediante técnicas de realidad aumentada como componente interactivo de los entornos geográficos virtuales, que facilita la interpretación de la plancha cartográfica.

El sistema desarrollado permite visualizar un modelo cartográfico virtual enriquecido mediante la integración de nubes de puntos y ortofotos que aportan información de relieve, forma y color, representando de forma más natural el terreno.

La interfaz de usuario cuenta con tres modos de ejecución: estático, dinámico y en línea. Los modos de ejecución obtuvieron un porcentaje de satisfacción entre usuarios de 91,48 %, 81,52% y 85,9% respectivamente.

El sistema no requiere de hardware especializado y alcanza a visualizar un modelo virtual fusionado en menos de 15 segundos en el modo de operación en línea, que es el de mayor costo computacional.

La interfaz tiene como restricción que los ocho marcadores de color aparezcan simultáneamente en las imágenes capturadas para estimar los parámetros de perspectiva y obtener una adecuada visualización del modelo virtual por parte del usuario.

Como trabajo futuro, se plantea utilizar descriptores locales de puntos característicos propios de la cartografía para evitar el uso de marcadores de colores artificiales y ampliar el rango de direcciones y posiciones de observación, así como la implementación del sistema en dispositivos móviles que brindarían mayor portabilidad a la herramienta.

Agradecimientos

Este trabajo fue desarrollado en el Laboratorio de Visión Artificial de la Universidad del Valle en Colombia. Los autores agradecen al grupo de investigación Percepción y Sistemas Inteligentes (PSI).





Bibliografía

- Ruiz, A., Urdiales, C., Fernández-Ruiz, J. A. & Sandoval, F. (2004). *Ideación arquitectónica asistida mediante realidad aumentada*. Ponencia presentada en las XIV Jornadas Telecom I+D, Madrid, España, 23-25 de noviembre. Recuperado de <http://www.ugr.es/~jafruiz/ideacion%20asistida%20realidad%20aumentada.pdf>.
- Callejas, M., Quiroga, J. & Alarcón, A. (2011). Interactive environment for tourist sites, implementing augmented. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 21(2), 1-12.
- Coelho, A. H. & Bähr, H.-P. (2005). Visualização de dados de CAD e LIDAR por meio de realidade aumentada. *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, pp. 2925-2932.
- Fonseca, D., Martí, N., Redondo, E., Navarro, I. & Sánchez, A. (2014). Relationship between student profile, tool use, participation and academic performance with the use of Augmented Reality technology for visualized architecture models. *Computers in Human Behavior*, 31, 434-445. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2013.03.006>.
- Heikkilä, J. & Silven, O. (1997). A Four-step Camera Calibration Procedure with Implicit Image Correction. In *IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*.
- Klinker, G., Stricker, D. & Reiners, D. (2001). Augmented Reality for Exterior Construction Applications. En W. Barfield & T. Caudell (eds.), *Augmented Reality and Wearable Computers*, pp. 379-428. Londres: Lawrence Erlbaum Press.
- Lara, L. & Villarreal, J.L. (2004). La realidad aumentada: una tecnología en espera de usuarios. *Revista Digital Universitaria*, 5(7), 1-9. Available at: http://www.revista.unam.mx/vol.8/num6/art48/jun_art48.pdf.
- Leguizamón, M. A., Gaviria, J. & Rodríguez, C. (2012). Sistema georreferenciado de realidad aumentada con dispositivos móviles para la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. *Vínculos*, 9(2), 147-154.
- Liu, K. & Hao, W. (2010). The Ontology of Virtual Geographical Environment. In *Geoinformatics, 2010 18th International Conference*, pp. 1-6.
- Malbos, A. N. A., Rochadel, W., De Lima, J. P. C. & Da Silva, J. B. (2014). Aplicação da Realidade Aumentada para simulação de experimentos físicos em dispositivos móveis. En *2014 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*, (pp. 231-235). Porto, Portugal: IEEE. doi: 10.1109/REV.2014.6784263.
- Nájera Gutiérrez, G. (2009). *Realidad aumentada en interfaces hombre máquina*. México: Instituto Politécnico Nacional.



- Olalde, K., García, B. & Seco, A. (2013). The Importance of Geometry Combined with New Techniques for Augmented Reality. *Procedia Computer Science*, 25, 136-143. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2013.11.017>.
- Ortiz Rangel, C. E. (2011). Realidad aumentada en medicina. *Revista Colombiana de Cardiología*, 11(7), 4-7.
- Silva, F. & Silva, J. (2012). A realidade aumentada em smartphones na exploração de informações estatísticas e cartográficas. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 18(2), 282-301.
- Uceda, S. (2014). *Uso de la realidad aumentada para facilitar la lectura e interpretación de planos* (tesis de grado). Escuela de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz (Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea UPV/EHU). Recuperado de <https://addi.ehu.es/handle/10810/13618>.
- Wilches, D. & Figueroa, P. (2011). *Visualización de información urbana georreferenciada por medio de realidad aumentada*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Zhang, Z. (2000). A flexible new technique for camera calibration. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(11), 1330-1334. doi: 10.1109/34.888718.

