

ESTUDIO Y DESARROLLO DE UNA TÉCNICA DE TELEMICROSCOPIA APLICABLE EN LAS ZONAS RURALES DE COLOMBIA

STUDY AND DEVELOPMENT OF A TELEMICROSCOPY TECHNIQUE APPLICABLE IN RURAL AREAS OF COLOMBIA

**AUTOR**

HUGO ARMANDO
GUALDRÓN COLMENARES
Universitario
*Biosys Ltda.
Investigador
Grupo de Desarrollo e
Innovación Tecnológica
hagc2812@gmail.com
COLOMBIA

AUTOR

LOLA XIOMARA BAUTISTA
ROZO
Maestría
**UIS.
Investigador
Grupo de Investigación e
Ingeniería Biomédica
bautista.lola.x@gmail.com
COLOMBIA

AUTOR

MIGUEL FABIÁN ROMERO
RONDÓN
Universitario
*Biosys Ltda.
Investigador
Grupo de Desarrollo e
Innovación Tecnológica
miguelfromeror@gmail.com
COLOMBIA

AUTOR

LAURA MELISSA SANABRIA ROSAS
Universitario
*Biosys Ltda.
Investigador
Grupo de Desarrollo e Innovación
Tecnológica
melissasanabriarosas@gmail.com
COLOMBIA

***INSTITUCIÓN**

Biosys Ltda.
Condominio San Miguel Casa 67 – Los
Colorados
COLOMBIA

***INSTITUCIÓN**

Universidad Industrial de Santander (UIS)
Carrera 27 Calle 9
COLOMBIA

INFORMACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN O DEL PROYECTO: Estudio y desarrollo de una técnica de telemicroscopía aplicable en las zonas rurales de Colombia. BIOSYS LTDA, Grupo de Desarrollo e Innovación Tecnológica – DIT.

RECEPCIÓN: Julio 24 de 2014

ACEPTACIÓN: Agosto 30 de 2014

TEMÁTICA: Teleaplicaciones

TIPO DE ARTÍCULO: Artículo de Investigación Científica e Innovación

Forma de citar: Gualdrón Colmenares, H. A., Bautista Rozo, L. X., Romero Rondón, M. F. & Sanabria Rosas, L. M. (2014). Estudio y desarrollo de una técnica de telemicroscopía aplicable en las zonas rurales de Colombia. En R, Llamosa Villalba (Ed.). Revista Gerencia Tecnológica Informática, 13(37), 69-79. ISSN 1657-8236.

RESUMEN ANALÍTICO

Los centros de atención primaria de salud de los países en desarrollo normalmente presentan deficiencia en infraestructura y escasez de médicos, sobre todo en las zonas rurales. En Colombia, la cuarta parte de la población reside en las regiones rurales, que son consideradas zonas de difícil acceso principalmente a causa de la geografía del país. Con el propósito de mejorar el acceso a los servicios de salud, se presenta la telemedicina como una alternativa que permite ahorrar tiempo a médicos y pacientes, omitiendo la necesidad de desplazarse, ya que la gran mayoría de especialistas se encuentra en las ciudades principales. En el campo de la patología, la telemedicina es de gran utilidad cuando la muestra se encuentra lejos de un laboratorio y se requiere de un diagnóstico preciso o se necesita una segunda opinión. En el presente artículo se expone una taxonomía de las técnicas de TelePatología que posteriormente se evalúan teniendo en cuenta las tasas de transmisión necesarias y los costos de adquisición de equipos, concluyendo que una técnica asincrónica y no robotizada es la más adecuada para el país. Por esta razón, se presenta un algoritmo que, utilizando una cámara adaptada al microscopio, permite la creación de imágenes panorámicas de muestras celulares, para enviarla de forma asincrónica a través de una red de comunicaciones.

PALABRAS CLAVES: Imagen Panorámica, SURF, TeleMicroscopía, TelePatología, Zonas Rurales.

ANALYTICAL SUMMARY

The centers of primary health attention in developing countries usually have difficulties due to the shortage of doctors and deficient infrastructure, especially in rural areas. In Colombia, a quarter of the population lives in rural regions, which are areas mainly considered for their geography of difficult access. In order to improve access to health services, telemedicine is presented as an alternative that allows for saving time in patients movement and medical specialists who normally work in the major cities. In the field of pathology, telemedicine is useful when the sample is far from a laboratory and requires a precise diagnosis or a second opinion is needed. In this paper is exposed a taxonomy of telepathology techniques which are evaluated afterwards taking into account the necessary rates of transmission and the equipments acquisition costs concluding with the fact that an asynchronous and non-robotized technique is the most suitable for the country. For this reason, is presented an algorithm that using a camera adapted to the microscope, enables the creation of panoramic images of cellular samples, to be sent in an asynchronous way by communication networks.

KEYWORDS: Panoramic image, SURF, Telemicroscopy, Telepathology, Rural Areas.

INTRODUCCIÓN

La salud pública es uno de los principales retos de países en vías de desarrollo. Estos países normalmente se enfrentan a una grave escasez de médicos, sobre todo en sus zonas rurales, donde las instalaciones para el tratamiento de pacientes pueden ser insuficientes en cuanto a personal, equipamiento y medicamentos [1]. Además se presentan otros retos para los profesionales en salud como sus bajos salarios y el difícil acceso a tecnología, educación médica continua y literatura médica actualizada [2].

Contar con recursos tanto materiales como humanos, para resolver los principales problemas de salud de una

población, es un objetivo difícil de lograr. En muchos casos, la telemedicina, mediante el empleo de tecnología de bajo costo, fácil de utilizar, y accesible tanto para el paciente como para el médico, puede contribuir al logro de este objetivo [3].

La telemedicina se define como la capacidad de brindar servicios médicos a distancia. Implica situaciones tan simples como solicitar vía telefónica una segunda opinión de un especialista sobre alguna patología concreta, o realizar un procedimiento quirúrgico mínimamente invasivo, cuyo operador resulta ser un robot sofisticado que se puede encontrar a kilómetros de distancia [4].

Actualmente el uso de la telemedicina avanza rápidamente y podría representar una buena alternativa

para complementar en términos de costo-efectividad a muchos de los programas de salud que se ven alrededor del mundo, ya que facilita la toma de decisiones terapéuticas y diagnósticas en diferentes escenarios clínicos y complementa la formación académica en las escuelas de medicina; sin embargo, aún existen barreras de infraestructura, principalmente los altos costos de inicio e instalación, que deben ser tenidos en cuenta, en especial para los países en desarrollo [5].

En el campo de la patología existen numerosos estudios que aprueban el uso de técnicas de telemedicina que ofrecen la disponibilidad de un médico patólogo experimentado a centros clínicos que no cuentan con este servicio, lo cual representaría ahorro de tiempo evitando el transporte de las muestras a los respectivos centros de patología [5].

En Colombia, problemas como la pobreza, la mala gestión de los recursos, la falta de educación y, en algunos casos, la propia geografía del país [6], hacen que el desarrollo y utilización de proyectos de esta índole sean indispensables, para así poder aportar a la solución de uno de los problemas más graves que se desprenden de los anteriores, y es el acceso a los servicios de salud [7].

En el capítulo uno se hace un estudio del estado del arte sobre las formas de digitalización de los campos de observación del microscopio y se propone la clasificación de las diferentes maneras de implementar la TelePatología. Posteriormente se presenta el estudio de las redes en Colombia, donde se muestra la velocidad de subida en todos los departamentos del país, agrupando sus municipios según sus características de ruralidad. En el capítulo tres se definen los equipos necesarios para cada una de las técnicas de TeleMicroscopía, con el fin de definir el costo de su implementación. Finalmente, se explica el algoritmo propuesto para la creación de imágenes panorámicas, mostrando como resultado la imagen de una muestra citológica.

1. TÉCNICAS DE TELEPATOLOGÍA

La histopatología es la rama de la patología que estudia el diagnóstico de enfermedades a través de los tejidos [8]; para realizar este análisis, los patólogos toman decisiones diagnósticas examinando las muestras directamente en el microscopio y midiendo diferentes atributos importantes de los objetos, como el tamaño, la forma, la oscuridad, el color y la textura.

Algunos de los factores que hacen complejo este proceso son, la exposición directa al microscopio, la cual puede traer al patólogo ciertas complicaciones como

fatiga visual, estrés físico, e irritación ocular [9, 10]; y el deterioro progresivo de las muestras de los tejidos debido a factores ambientales o a la manipulación de las placas [11]. Para superar los inconvenientes presentados en la patología convencional se recurre a la TelePatología, cuya característica principal es el uso del microscopio digital, el cual convierte el flujo de trabajo analógico en uno virtual mediante la digitalización de las imágenes que son visibles bajo el microscopio [12].

Los beneficios potenciales que representa el desarrollo de un sistema que permita digitalizar los campos observables del microscopio son, (a) mejorar el tiempo de respuesta para el diagnóstico, (b) archivar y recuperar rápidamente casos antiguos, (c) reducir el error producido por la manipulación de las placas, (d) mejorar el intercambio de información, (e) establecer colaboraciones remotas, (f) generar atlas que favorezcan la educación en patología, (g) mejorar las imágenes digitales proporcionando una interpretación cualitativa más exacta, (h) extraer patrones y datos cuantitativos para dar soporte al diagnóstico [13]. A continuación se presentan algunas técnicas de microscopía digital que se han implementado en diferentes países.

En un trabajo realizado entre el Instituto de Patología de la Universidad de Udine y el laboratorio de Patología del Hospital de Tolmezzo, en Italia, se describe el rendimiento diagnóstico y la facilidad de uso de un sistema robótico que incorpora un joystick para el manejo a distancia de la platina del microscopio, donde el patólogo puede observar el video en el monitor, haciendo cambios de iluminación y ampliación como si estuviera viendo directamente en el microscopio [14]. De manera similar, se han utilizado sistemas de TeleMicroscopía robótica que demuestran la factibilidad y la precisión del diagnóstico comparadas con la microscopía convencional. [15, 16]

Por otra parte, podemos encontrar técnicas no robotizadas, como el estudio hecho en la Escuela de Medicina de Dartmouth en Estados Unidos, donde el citotecnólogo realiza el recorrido de la placa mientras el video es transmitido en tiempo real al patólogo, quien observa la secuencia desde un lugar remoto, y tiene la capacidad de dar instrucciones a través de un micrófono. [17]

También se han utilizado sistemas asíncronos, donde primero se crea una imagen digital completa de la placa y posteriormente, se realiza el diagnóstico utilizando un software que permite al patólogo visualizar, en diferentes aumentos, la muestra digitalizada [18, 19]. Las técnicas varían en la manera de digitalización, por ejemplo en [20] se emplea un escáner de imágenes histológicas y en [21] se usa una cámara adaptada al microscopio.

De acuerdo al estudio del estado del arte sobre las formas de digitalización de los campos de observación del microscopio, en la tabla 1 se propone la clasificación de las diferentes maneras de implementar la TelePatología.

TABLA 1. Clasificación de las técnicas de TelePatología

Técnica		Descripción
Sincrónica	Robotizada	Permite al destinatario ver en tiempo real las imágenes observadas en un microscopio, controlando de forma remota el campo de observación, aumento y enfoque [22].
	No robotizada	El destinatario puede visualizar la placa de forma remota y comunicarse verbalmente con el operador del microscopio para darle indicaciones sobre el movimiento y ajuste de los campos de observación [23].
Asincrónica	Automatizada	Un scanner genera una imagen digital completa de la placa para que el especialista ubicado en un lugar distante realice el diagnóstico, visualizando la imagen en un monitor [24].
	No automatizada	Una cámara adaptada al microscopio captura imágenes de la muestra que posteriormente se envían al especialista, ubicado en una zona remota, para su revisión [25].

2. ESTUDIO DE LAS REDES

Para dar acceso a servicios de telemedicina es necesario tener en cuenta los diferentes tipos de tecnologías (cableadas o inalámbricas) disponibles para el envío y recepción de la información médica en las zonas rurales del país [26], donde reside el 24,44% de la población [27].

Colombia está dividida en 32 departamentos, los cuales son entidades territoriales que tienen autonomía para la administración de los asuntos seccionales y la

planificación y promoción del desarrollo económico y social dentro de su territorio. Los departamentos a su vez están divididos en municipios, que suman un total de 1.123 en todo el país, los cuales tienen autonomía política, fiscal y administrativa [28].

Con el objetivo de agrupar los municipios colombianos según sus características de ruralidad, se tomó como referencia un estudio hecho en la Universidad Nacional de Colombia [29], en el cual se separan los municipios en 5 grupos: eminentemente rurales, rurales, urbano-rurales, urbanos, y eminentemente urbanos.

Tomando como base las cifras ofrecidas por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones [30], se buscó la velocidad máxima en la transmisión de subida que ofrecen los proveedores de internet en cada municipio del país, en los segmentos residenciales y centros para acceso colectivo. Los municipios se agruparon de acuerdo a sus características de ruralidad, con lo que posteriormente se calculó el promedio de la velocidad de carga para cada departamento.

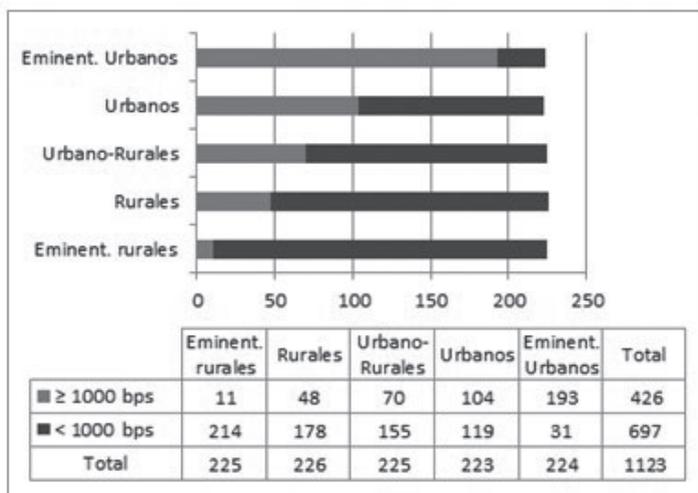
Los sistemas de TelePatología puramente dinámicos presentan un gran número de inconvenientes técnicos, entre ellos que los equipos de videoconferencia algunas veces no proporcionan la resolución necesaria para observar los detalles histopatológicos, además, para evitar que el movimiento desoriente a la persona que visualiza la información, el video debe ser enviado a una velocidad de 30 fotogramas por segundo, lo que requiere la transmisión de una gran cantidad de datos, ya sea comprimido o sin comprimir. [31]

Según la bibliografía consultada [32], generalmente para los sistemas de TeleMicroscopía en tiempo real, se requiere un ancho de banda mínimo de 1000 bits por segundo (bps), de los 1123 municipios del país, 426 cumplen con este requisito, mientras los 697 restantes no lo satisfacen, como se puede ver en la Figura 1. Por lo tanto sólo el 38% de los municipios podrían implementar un sistema de TelePatología cuya transmisión se realice de forma síncrona.

Una ventaja de los sistemas de TelePatología estáticos, es que no es indispensable una conexión a internet de alta velocidad en los centros de salud de las zonas rurales, ya que la carga de imágenes se realiza de forma asíncrona. Sin embargo, es importante tener en cuenta la descarga de información en las ciudades donde se encuentran los patólogos, con el fin de transmitir las imágenes rápidamente para su visualización [33].

TABLA 2. Velocidad de carga promedio (en bits por segundo) de los departamentos, agrupando sus municipios de acuerdo a sus características de ruralidad.

Departamento	Eminentemente rurales	Rurales	Urbano-Rurales	Urbanos	Eminentemente Urbanos
Amazonas	128	512	-	-	1000
Antioquia	675	987	899	1312	29008
Arauca	-	-	-	-	2000
Arch. San Andrés	-	-	-	-	5120
Atlántico	512	1032	546	1856	4349
Bolívar	-	439	821	453	7833
Boyacá	399	375	794	2756	5481
Caldas	768	870	827	2062	5235
Caquetá	128	1000	226	544	2702
Casanare	205	1341	1533	2250	3380
Cauca	-	209	1028	585	2441
Cesar	-	512	448	608	4272
Chocó	96	51	156	596	1000
Córdoba	-	768	1258	649	2319
Cundinamarca	464	580	1188	3498	5836
Guainía	32	-	-	231	-
Guaviare	-	-	64	-	0
Huila	667	250	59	1122	4840
La Guajira	512	4096	2714	2970	2522
Magdalena	-	1408	991	765	2730
Meta	373	2083	816	1592	3765
Nariño	1256	687	352	406	2418
Norte de Santander	729	825	811	683	5909
Putumayo	512	512	333	-	2000
Quindío	512	1365	4500	10000	4936
Risaralda	-	512	4042	4048	5638
Santander	464	572	852	2112	5235
Sucre	512	524	853	1015	2512
Tolima	896	1315	1109	2104	3462
Valle del Cauca	600	742	2448	3058	5865
Vaupés	129	-	-	297	-
Vichada	128	-	-	-	512

FIGURA 1. Segmentación de los municipios que presentan un ancho de banda mayor a 1000 bps, agrupados por nivel de ruralidad.

3. ESTUDIO DEL COSTO DE HARDWARE

Los componentes básicos de un sistema de TelePatología son: una cámara digital adaptada a un microscopio, la cual está conectada al computador, que en conjunto proporcionan una imagen que puede ser guardada y enviada a un experto para su consulta. El costo

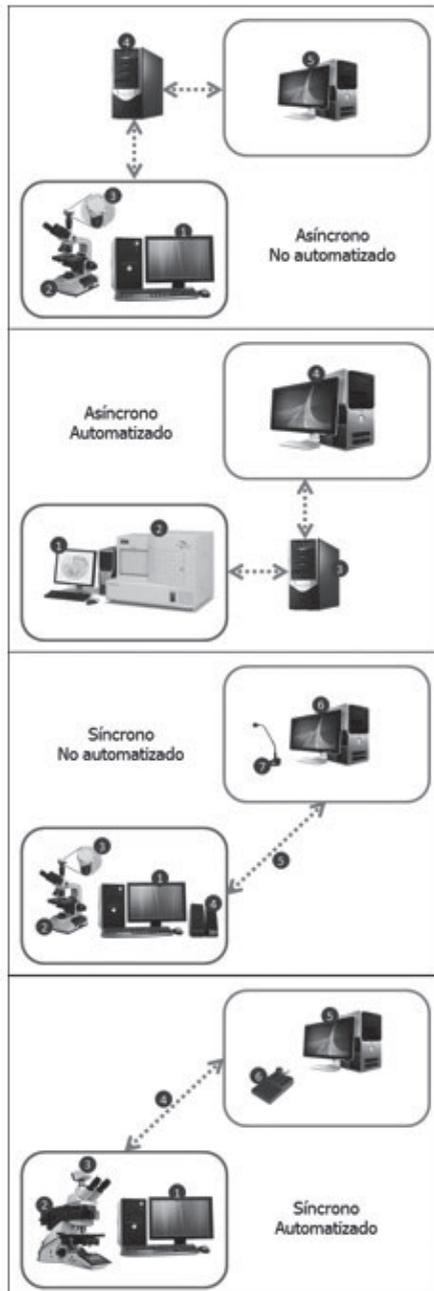
y la complejidad de un sistema de TeleMicroscopía incrementan con la adición de un microscopio robótico y la transmisión punto a punto, pero permite al observador, controlar el movimiento de la placa, el enfoque y los objetivos. En la Tabla 3, se listan los equipos necesarios para cada una de las técnicas de TeleMicroscopía.

TABLA 3. Equipos necesarios para cada una de las técnicas de TeleMicroscopía.

Técnica Ubicación	Asíncrona		Síncrona	
	No automatizada	Automatizada	No automatizada	Automatizada
En el centro de salud de la zona rural	1. Computador	1. Computador	1. Computador	1. Computador
	2. Microscopio trinocular	2. Escáner de placas virtuales	2. Microscopio trinocular	2. Microscopio trinocular automatizado
	3. Cámara adaptable al microscopio		3. Cámara adaptable al microscopio	3. Cámara adaptable al microscopio
Para la transmisión.	4. Servidor de imágenes	3. Servidor de imágenes	4. Parlantes	4. Conexión punto a punto
En el centro de salud de la cabecera municipal	5. Computador	4. Computador	5. Conexión punto a punto	4. Conexión punto a punto
			6. Computador	5. Computador
			7. Micrófono	6. Joystick para controlar el aumento y el desplazamiento del microscopio

Siguiendo la numeración que tienen los equipos en la Tabla 3, en la Figura 2 se presenta la configuración del equipamiento mínimo necesario para cada una de las técnicas de TeleMicroscopía.

FIGURA 2. Equipamiento mínimo necesario para cada una de las técnicas de TeleMicroscopía. En azul se encierran los equipos necesarios en el centro de salud de la zona rural, y en verde los equipos necesarios en el centro de salud de la cabecera municipal.



Teniendo en cuenta que en el capítulo anterior se concluyó que en un país como Colombia no es viable implementar actualmente un sistema que utilice transmisión síncrona, ya que no cuenta con la infraestructura adecuada en sus redes para brindar una velocidad de transmisión óptima. Restaría analizar el costo de los sistemas que utilizan transmisión asíncrona, con el objetivo de elegir la técnica de TeleMicroscopía más adecuada para un país en desarrollo.

La tecnología que usa un escáner para crear una imagen completa de la placa es la más costosa de las opciones para TelePatología, su precio oscila entre US \$30.000 y \$250.000 [38]. Estos instrumentos permiten obtener rápidamente una serie de imágenes que se ensamblan a través de un software y se comprimen para formar un solo archivo con la imagen de la placa. Aunque este método presenta buenos resultados, se debe tener en cuenta que en los países en desarrollo, no se cuenta con los recursos disponibles para implementar un sistema de este tipo[39].

Por su parte, la técnica de microscopía digital asíncrona y no automatizada, en comparación con la automatizada, sólo requiere el uso de una cámara digital adaptable al microscopio para tomar las imágenes, lo que reduce considerablemente el gasto en adquisición de equipos para su implementación.

4. DIGITALIZACIÓN DE LOS CAMPOS OBSERVABLES DEL MICROSCOPIO

A continuación se presentan los aspectos principales que tiene el algoritmo de digitalización de muestras histológicas desarrollado que permite digitalizar los campos observables del microscopio y crear una imagen panorámica de la muestra.

La configuración de los equipos utilizados es la siguiente:

Cámara: Moticam 2000.

Microscopio: Olympus CX31.

Computador:

Modelo: Dell Inspiron N4110.

Procesador: Intel Core i5 - 2450M CPU 2.50GHz.

RAM: 4.00 GB.

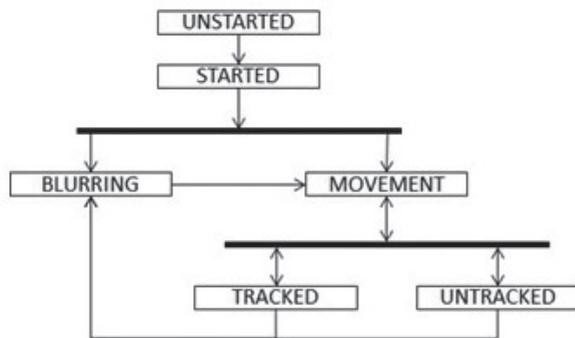
Sistema Operativo: Ubuntu 12.04 de 32 bits.

Utilizando la cámara adaptada al microscopio, se capturan 10 fotogramas por segundo, obteniendo imágenes a color. Con el fin de minimizar el costo computacional, la imagen utilizada en el algoritmo de digitalización es transformada a escala de grises, que permite resaltar los bordes de los objetos y resulta beneficioso al momento de detectar las características relevantes.

Para realizar el seguimiento del recorrido de la placa, se utilizan dos imágenes correspondientes a tiempos de captura consecutivos, sobre las cuales se emplea un algoritmo de detección de puntos de interés invariantes a la escala, desenfoque, iluminación y rotación. Se seleccionó el algoritmo SURF (Speeded Up Robust Features), porque proporciona un equilibrio entre tiempo de computación y exactitud, lo cual permite utilizarlo en aplicaciones de toma de imágenes en tiempo real como la nuestra [40] [41].

De acuerdo al rastreo del movimiento de la platina del microscopio, representado por el desplazamiento de los puntos de interés entre las imágenes consecutivas, el algoritmo de digitalización puede tener diferentes estados, como se muestra en la Figura 3.

FIGURA 3. Diagrama de los estados del algoritmo de digitalización de muestras histológicas.



A continuación se define lo que significa cada uno de esos estados dentro del código:

UNSTARTED: Estado inicial del algoritmo de digitalización.

STARTED: Estado en el que se encuentra cuando el usuario inicia el proceso, en este estado se comienza a hacer el seguimiento de las imágenes.

BLURRING: Si no se detecta ningún movimiento en la imagen, es decir, los puntos de interés no se desplazaron entre las dos imágenes; se supone que se está haciendo un desplazamiento en el eje Z, por lo tanto el proceso pasa al estado BLURRING, el cual selecciona la imagen que esté mejor enfocada, utilizando la técnica que se presenta en [42].

MOVEMENT: Si se detecta algún movimiento de los puntos característicos de la imagen, quiere decir que ha ocurrido un desplazamiento en los ejes X o Y, y por lo tanto pasa a este estado.

TRACKED: Si los puntos característicos de ambas imágenes son isométricos, el estado del proceso pasa a ser TRACKED, que indica que se está haciendo correctamente el seguimiento al recorrido, por lo tanto se calcula la distancia entre las imágenes, para finalmente unir las.

UNTRACKED: Este estado señala que no se logró hacer seguimiento al recorrido, es decir, los puntos característicos de ambas imágenes, no coinciden. Visualmente se representa en la interfaz mostrando la imagen obtenida por la cámara con tonos rojos.

En la Figura 4 se muestra la imagen panorámica generada por el algoritmo, tomada a 10X, sus dimensiones son 19546 x 17408 píxeles y su tamaño en formato JPG es de 106 MB. La imagen fue obtenida de una sección de la placa de citología que se observa en la Figura 5.

FIGURA 4. Imagen panorámica generada por el algoritmo de Stitching.

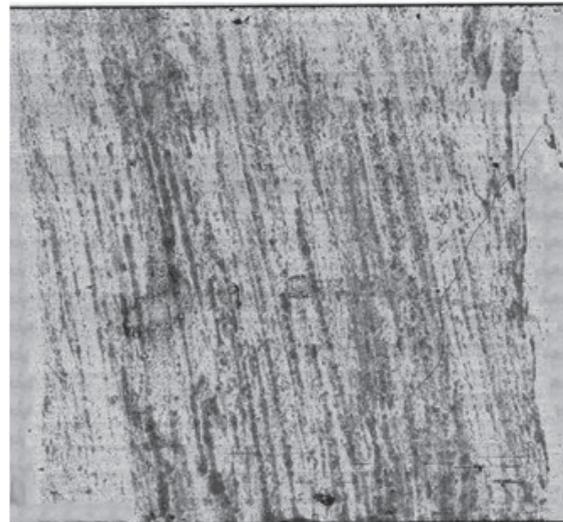
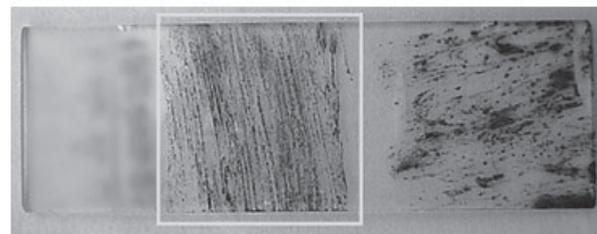


FIGURA 5. Placa utilizada para generar la imagen panorámica. En el rectángulo blanco se resalta la parte de la placa que fue digitalizada.



5. CONCLUSIONES

La telemedicina presenta numerosas ventajas para los países en desarrollo, en los cuales existen diferentes problemas de acceso al sistema de salud; pero es importante realizar estudios en los que se evalúe la infraestructura disponible para su implementación, ya que se encuentran casos como el de Colombia donde gran parte de su territorio es rural, que son zonas donde los recursos son limitados y el personal capacitado es escaso.

Para escoger una técnica de TeleMicroscopía adecuada para implantar en Colombia se debe tener en cuenta la velocidad de transmisión de información en las redes de comunicaciones de los lugares donde se plantea realizar el acceso al sistema. En el país, de los 451 municipios catalogados como rurales y eminentemente rurales, sólo 59 tienen una velocidad de carga mayor a 1000 bps, lo que hace inviable la implantación de un sistema de TeleMicroscopía donde la transferencia de información se realice de forma síncrona.

Por otra parte, se debe analizar el costo de los componentes básicos del sistema elegido. En el mercado se pueden encontrar cámaras digitales, que permiten la captura de imágenes de los campos de observación del microscopio; si a partir de estas imágenes, utilizando un software especializado, es posible generar una imagen panorámica, el costo de adquisición de equipos disminuye radicalmente en comparación a otras técnicas automatizadas utilizadas para el mismo objetivo.

Para la generación de la imagen panorámica, se puede utilizar un detector y descriptor de puntos de interés, entre estos algoritmos se encuentra SURF, que sobresale entre los demás porque permite realizar la detección de puntos característicos en tiempo real, lo que hace posible la creación de la imagen panorámica, informando al usuario de forma interactiva si la unión de las imágenes se está haciendo correctamente.

6. AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido apoyado por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia, COLCIENCIAS, como beneficiarios de la convocatoria 566 de Jóvenes Investigadores e Innovadores del año 2012, en la alianza entre el Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica (GIIB) de la Universidad Industrial de Santander y la empresa Biosys Ltda.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Hudson, H. (2011). From rural village to global village: *Telecommunications for development in the information age*. Nueva York: Routledge.
- [2] Muñoz, R. (2012). Telemedicine in pediatric cardiac critical care. *Telemedicine and e-Health*, 18, 132-136.
- [3] Solarz, P. (2012). Aplicación Web para Telemedicina Rural. *III Congreso Argentino de Informática y Salud, CAIS*. (p. 1853-1881). Buenos Aires, Argentina. ISSN 1853-1881.
- [4] López, C. (2013). Telemedicina Aplicada a la Valoración del Riesgo Cardiovascular: Experiencia en el Hospital María Angelinas de Puerto Leguizamó, Putumayo. *Revista Ciencia e Innovación en Salud*, 1 (2), 95-100. ISSN 2344-8636.
- [5] Cáceres, E. (2011). Telemedicina: historia, aplicaciones y nuevas herramientas en el aprendizaje. *Revista Universitat Médica*, 52 (1), 11-35. ISSN 0041-9095.
- [6] Gómez, M. (2011). Un modelo de atención en salud al pueblo wayúu en la frontera colombo-venezolana. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 30 (3), 272 - 278.
- [7] Urueta, A. & Osorio, D. & Valencia, L. (2011). MediCom: Herramienta de telemedicina para el análisis de imágenes e información compartidas. *Computing Congress (CCC), 2011 6th Colombian del 4 al 6 de Mayo de 2011*, (p.1, 6). Manizales: Colombia. ISBN 978-1-4577-0285-3
- [8] Martino, A. *Histopatología - Programa de Biotecnología: Introducción*. Centro nacional de investigaciones oncológicas, España. Recuperado (2014, junio 24) de <http://www.cnio.es/es/servicios/histopatologia/default.aspx>
- [9] Söderberg, I. (1983). Investigation of visual strain experienced by microscope operators at an electronics plant. *Applied ergonomics*, 14 (4), 297-305.
- [10] Lee, K & Waikar, A & Wu, L. (1988). Physical stress evaluation of microscope work using objective

and subjective methods. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2 (3), 203-209.

- [11] Mesa, D. (2005). Protocolos para la preservación y manejo de colecciones biológicas. *Boletín Científico del Centro de Museos*, 10, 17-148.
- [12] Chen, X. & Zheng, B. & Liu, H. (2011) Optical and digital microscopic imaging techniques and applications in pathology. *Analytical Cellular Pathology*, 34 (1), 5-18.
- [13] Sabata, B. (2012). Digital pathology imaging - The next frontier in medical imaging. *Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS) del 1 al 6 de Diciembre de 2012*. (p.1-6). Java Occidental: Indonesia.
- [14] Della M. (2009). Combining dynamic-and static-robotic techniques for real-time telepathology. *Telepathology*, (p. 79-89). Berlín: Springer.
- [15] Wamala, D. & Katamba, A. & Dworak, O. (2011). Feasibility and diagnostic accuracy of Internet-based dynamic telepathology between Uganda and Germany. *Journal of telemedicine and telecare*, 17 (5), 222-225.
- [16] Slodwska, J. (2010). Use of the virtual slide and the dynamic real-time telepathology systems for a consultation and the frozen section intra-operative diagnosis in thoracic/pulmonary pathology. *Folia Histochemica et Cytobiologica*, 47 (4), 679-678.
- [17] Marotti, J. (2012). Implementation of telecytology for immediate assessment of endoscopic ultrasound-guided fine-needle aspirations compared to conventional on-site evaluation: analysis of 240 consecutive cases. *Acta cytologica*, 2012, 56 (5), 548-553.
- [18] Wienert, S. (2009). Integration and acceleration of virtual microscopy as the key to successful implementation into the routine diagnostic process. *Diagnostic Pathology*, 4 (3), 1-8.
- [19] Nielsen, P. (2010). Virtual microscopy: an evaluation of its validity and diagnostic performance in routine histologic diagnosis of skin tumors. *Human pathology*, 41 (12), 1770-1776.
- [20] Fallon, M. & Wilburg, D. & Prasad, M. (2010). Ovarian frozen section diagnosis: use of whole-slide imaging shows excellent correlation between virtual slide and original interpretations in a large series of cases. *Archives of pathology & laboratory medicine*, 134 (7), 1020-1023.
- [21] Gimbel, D. (2012). A static-image telepathology system for dermatopathology consultation in east Africa: the Massachusetts general hospital experience. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 67 (5), 997-1007.
- [22] Trudel, M. (2012). The effects of a regional telepathology project: a study protocol. *BMC health services research*, 12 (1), 64-74.
- [23] Khurana, K. (2013). Feasibility of dynamic telecytology for rapid on-site evaluation of endobronchial ultrasound-guided transbronchial fine needle aspiration. *TELEMEDICINE and e-HEALTH*, 19 (4), 265-271.
- [24] Weinstein, R. (2012). Reconciliation of diverse telepathology system designs. Historic issues and implications for emerging markets and new applications. *Apmis*, 120 (4), 256-275.
- [25] Collins, B. (2013). Telepathology in cytopathology: challenges and opportunities. *Acta cytologica*, 57 (3), 221-232.
- [26] Vilorio, C. & Cardona, J. & Lozano, C. (2009). Análisis comparativo de tecnologías inalámbricas para una solución de servicios de telemedicina. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, 25, (25), 200-217.
- [27] Banco Mundial. *World Development Indicators: Rural environment and land use*. Recuperado (2014, Junio 26) de <http://datos.bancomundial.org/indicador/SP.RUR.TOTL>
- [28] Departamento Nacional de Estadística, DANE. *División Política Administrativa, Conceptos Básicos*. Recuperado (2014, Junio 24) de http://www.dane.gov.co/files/inf_geo/4Ge_ConceptosBasicos.pdf
- [29] Agudelo, L. (2010). *Agrupación de municipios colombianos según característica de ruralidad*. Tesis de grado de Magister. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- [30] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, MinTic. (2014). *Informe Trimestral de las TIC, cifras cuarto trimestre de 2013*. Recuperado (2014, Julio 9) de <http://colombiatic.mintic.gov.co/602/w3-article-5550.html>

- [31] Smith, M. (2005). Introduction to telepathology. *Informatics for the Clinical Laboratory: A Practical Guide*, (p. 268-286). Nueva York: Springer.
- [32] Munh, C. (2012). Emerging technologies for telemedicine. *Korean Journal of Radiology*, 13 (1), S21-S30.
- [33] Riegman, P. (2009). Applications of virtual microscopy. *Telepathology*, (p. 53-62). Berlín: Springer.
- [34] Cai, G. (2010). Cytologic evaluation of image-guided fine needle aspiration biopsies via robotic microscopy: A validation study. *Journal of pathology informatics*, 1 (1), 4-10.
- [35] Wilbur, D. (2009). Whole-slide imaging digital pathology as a platform for teleconsultation: a pilot study using paired subspecialist correlations. *Archives of pathology & laboratory medicine*, 133 (12), 1949-1953.
- [36] Liu, J. (2012). Real-time pathology through in vivo microscopy. *Studies in health technology and informatics*, 185, 235-264.
- [37] Pantanowitz, L. (2012). Experience with multimodality telepathology at the University of Pittsburgh Medical Center. *Journal of pathology informatics*, 3, 45.
- [38] Isse, K. (2012). Digital transplantation pathology: combining whole slide imaging, multiplex staining and automated image analysis. *American Journal of transplantation*, 12 (1), 27-37.
- [39] Hitchcock, C. (2011). The future of telepathology for the developing world. *Archives of pathology & laboratory medicine*, 135 (2), 211-214.
- [40] Pang, Y, et al. (2012). Fully affine invariant SURF for image matching. *Neurocomputing*, 85, 6-10.
- [41] Ali, S & Hussain, M. (2012). Panoramic image construction using feature based registration methods. *Multitopic Conference (INMIC), 2012 15th International del 13 al 15 de Diciembre de 2012*. (p. 209-214). Islamabad: Pakistan.
- [42] Garcés, L & Gualdrón, H & Gómez, A. (2012) Elimination of blurred images of cellular fields to virtualize a slide. *XVII Simposio de Tratamiento de Señales, Imágenes y Visión Artificial (STSIVA) del 12 al 14 de septiembre de 2012*. (p.183-189). Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia. ISBN: 978-1-4673-2759-6.