

PROTOTIPO DE SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE
IMÁGENES MICROSCÓPICAS BASADA EN CONTENIDO
VISUAL PARA EL ASESORAMIENTO DEL DIAGNÓSTICO
DE CONDILOMA PLANO VIRAL



MARITZA FERNANDA MERA GAONA

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Sistemas
Grupo GTI – Grupo de Investigación y Desarrollo en Tecnologías de la
Información
Popayán, Marzo de 2012

PROTOTIPO DE SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE IMÁGENES MICROSCÓPICAS BASADA EN CONTENIDO VISUAL PARA EL ASESORAMIENTO DEL DIAGNÓSTICO DE CONDILOMA PLANO VIRAL



MARITZA FERNANDA MERA GAONA

Monografía para optar al título de
Ingeniero de Sistemas

Director
Mg. Sandra Milena Roa Martínez

Asesor
MD. Harold Bolaños

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Sistemas
Grupo GTI – Grupo de Investigación y Desarrollo en Tecnologías de la
Información
Popayán, Marzo de 2012

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad del Cauca y docentes que me formaron como profesional y persona, permitiéndome realizar mis estudios de pregrado en el programa de Ingeniería de Sistemas.

A la Compañía de Patólogos del Cauca por la colaboración en el préstamo de las biopsias de Cuello Uterino empleadas para la construcción de la base de datos del prototipo construido.

Al Laboratorio de Microscopia de la Universidad del Cauca por facilitar el acceso a sus instalaciones y recursos para la digitalización de las biopsias de Cuello Uterino.

A mi asesor, MD. Harold Bolaños por la paciencia, dedicación y colaboración brindada para la realización de este proyecto.

A mi directora, ingeniera Sandra Milena Roa por su apoyo, paciencia, consejos y todo lo enseñado durante el desarrollo del proyecto.

Finalmente, a mi familia por el apoyo incondicional que me han brindado en cada uno de los días de mi vida, por confiar en mí y por alentarme en cada momento de mi formación académica.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2. OBJETIVOS	4
1.2.1. Objetivo General.....	4
1.2.2. Objetivos específicos.....	5
1.3. PRODUCTOS	5
2. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	7
2.1. SISTEMAS CBIR	7
2.1.1. Antecedentes de sistemas CBIR en ambientes médicos.....	7
2.2. CONTEXTO MÉDICO	12
2.2.1. VPH (Virus del Papiloma Humano).....	12
2.2.2. Cáncer de Cuello Uterino:.....	12
2.2.3. Criterios de Diagnóstico del VPH.....	12
2.3. EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS	13
2.3.1. Características de Imágenes.....	14
2.3.2. Técnicas de extracción de características	17
2.4. FUNCIONES DE SIMILARIDAD	21
2.5. ARQUITECTURAS DE SISTEMAS CBIR Y DESARROLLO DE SOFTWARE. 23	
2.5.1. Arquitecturas de sistemas CBIR	23
2.5.2. Arquitecturas de desarrollo de software.....	25
3. SELECCIÓN DE TÉCNICAS DE EXTRACCIÓN Y FUNCIONES DE SIMILARIDAD	30
3.1. CARACTERIZACIÓN DE IMÁGENES	30
3.1.1. Texturas de Tamura	33
3.1.1.1. Coarseness	33
3.1.1.2. Contraste	34
3.1.1.3. Direccionalidad	35
3.1.2. Dominio Espacial de Filtrado	36
3.1.2.1. Filtro de Sobel.....	36
3.1.2.2. Filtro de Laplace	37
3.1.2.3. Filtro de Roberts	38
3.2. MATRICES DE COOCURRENCIA	38
3.3. TRANSFORMADA DISCRETA DE WAVELETS	39

3.4. FUNCIONES DE SIMILARIDAD	41
4. PROTOTIPO DE SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE IMÁGENES MICROSCÓPICAS BASADA EN CONTENIDO VISUAL PARA EL ASESORAMIENTO DEL DIAGNÓSTICO DE CONDILOMA PLANO VIRAL.....	43
4.1. DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS.	43
4.1.1. Requerimientos funcionales.....	43
4.2. ANÁLISIS Y DISEÑO.....	45
4.2.1. Definición de actores	45
4.2.3. Arquitectura del Sistema.....	48
4.2.4. Casos de Uso reales.	55
4.2.5. Artefactos de Diseño.....	60
4.3. IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO.....	62
4.3.1. Vista de Implementación.....	62
4.3.2. Construcción del Prototipo	64
4.4. PRUEBAS DE SOFTWARE	68
4.4.1. Pruebas de Unidad	68
4.4.2. Optimización de algoritmos	72
4.5. IMPLANTACIÓN DEL PROTOTIPO	75
4.5.1. Vista de despliegue	75
5. EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO	77
5.1. PREPARACIÓN DE LA BASE DE DATOS DE IMÁGENES.....	77
6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	83
6.1. CONCLUSIONES	83
6.2. RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	84
BIBLIOGRAFÍA.....	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Lesión con alteraciones de VPH (Colilocitos y Binucleación)	13
Figura 2. Lesión con alteraciones de VPH (Disqueratosis)	13
Figura 3. Arquitectura de Bertino para un Sistema CBIR	24
Figura 4. Arquitectura Cliente-Servidor	26
Figura 5. Arquitectura Basada en Componentes.....	26
Figura 6. Arquitectura N-Capas (N-Layer).....	27
Figura 7 Arquitectura Orientada al Dominio	28
Figura 8 Arquitectura N-Capas con Orientación al Dominio	28
Figura 9. Imagen digital de una biopsia de cuello uterino con resolución 40x.	31
Figura 10. Imagen de biopsia de cuello uterino y regiones de análisis en el diagnóstico.	32
Figura 11. a) Imagen original, b) Imagen de Coarseness.....	34
Figura 12. Imagen de contraste evaluada para diferentes vecindades de tamaño k. ...	35
Figura 13. a) Imagen original, b) Imagen del Contraste.	35
Figura 14.) Imagen original, b) Imagen de la direccionalidad.	36
Figura 15. a) imagen original, b) imagen filtrada.	37
Figura 16. a) imagen original, b) imagen filtrada.	38
Figura 17. a) imagen original, b) imagen filtrada.	38
Figura 18. Matriz de coocurrencia para una distancia de 1 pixel y un ángulo de 0°. ...	39
Figura 19. Banco de Filtros de descomposición wavelet de la imagen.....	40
Figura 20. Transformada de Wavelet sobre la imagen filtrada con Sobel con dos niveles de descomposición.	41
Figura 21. Diagrama de paquetes.....	46
Figura 22. Paquete Gestionar Configuración	47
Figura 23. Paquete Gestionar Cuenta.....	47
Figura 24. Paquete Consultar Por Contenido.....	48
Figura 25. Paquete Gestionar Casos Clínicos	48
Figura 26. Arquitectura del Prototipo.....	52
Figura 27. Módulo CBIR.	54
Figura 28. Diagrama de clases del dominio del prototipo.....	61
Figura 29. Modelo físico del prototipo software.....	62
Figura 30. Diagrama de Componentes.	63
Figura 31. Ejemplo de función definida en la DLL.	65
Figura 32. Módulo de procesamiento digital de imágenes	66
Figura 33. UI de búsqueda por contenido de la primera Iteración.	67
Figura 34. UI para la búsqueda por contenido mediante una imagen de ejemplo.	67
Figura 35. Interfaz para Gestionar la Configuración del Prototipo.	68
Figura 36. Conjunto de placas de biopsias de cuello uterino.....	72
Figura 37. Imagen digitalizada de biopsia de cuello uterino a una resolución de 40x..	73
Figura 38. Ejemplos de subregiones almacenadas en la base de datos.	73
Figura 39. Subregión de prueba.	74
Figura 40. Subregiones de imágenes de biopsias de cuello uterino modificadas digitalmente.	74
Figura 41. Vista de Despliegue.	76
Figura 42. Imagen de prueba 2 junto a una imagen similar.....	80
Figura 43. Imágenes en las que se confundió el prototipo.	81

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Criterios de Toki.....	13
Tabla 2. Descripción del Actor Estudiante	45
Tabla 3. Descripción del Actor Médico.....	45
Tabla 4. Descripción del Actor Administrador.	45
Tabla 5. Descripción del Actor Anónimo.	46
Tabla 6. Caso de uso gestionar configuración. Formato Alto Nivel.	56
Tabla 7. Caso de uso Consultar por Contenido. Formato Alto Nivel.	57
Tabla 8. Caso de uso Adicionar Caso Clínico. Formato Alto Nivel.	58
Tabla 9. Caso de uso Eliminar Caso clínico. Formato Alto Nivel.....	59
Tabla 10. Caso de uso Actualizar Caso Clínico. Formato Alto Nivel.	60
Tabla 11. Componentes del módulo CBIR.....	64
Tabla 12. Descripción Componente - Configuración del Prototipo	69
Tabla 13.Descripción Componente - Consultar por Contenido.	69
Tabla 14.Tabla de Particiones para el Componente Configuración del Prototipo.....	70
Tabla 15. Tabla de batería de prueba para el componente Configurar Prototipo	70
Tabla 16. Tabla de Particiones para el componente de Consulta por Contenido	71
Tabla 17. Tabla de baterías de prueba para el componente de Consulta por Contenido	71
Tabla 18. Ejemplo de Matriz de confusión.	77
Tabla 19. Imágenes de prueba con sus imágenes similares de la base de datos.	78
Tabla 20. Resultados de la evaluación.	80

1. INTRODUCCION

La creciente producción de información visual generada en áreas como la medicina, debido a la alta disponibilidad de dispositivos que permiten la captura de imágenes digitales durante la práctica de exámenes complementarios que se realizan para obtener información clínica de los pacientes y emplearla para soportar diagnósticos médicos, ha llevado a que los departamentos de Imágenes Diagnósticas de los centros clínicos almacenen en sus archivos grandes colecciones de imágenes o videos médicos imposibles de procesar eficientemente, por ejemplo, existen cifras que muestran que en el Hospital Universitario de Ginebra en el 2002 se producían cerca de 12.000 imágenes diarias en el departamento de Radiología (Muller, 2004). Sin embargo, la creciente producción de información visual en los centros clínicos, la dificultad existente para diagnosticar este material y la imposibilidad de gestionarlo eficientemente, han impulsado la investigación acerca del desarrollo de sistemas CBIR¹ en el campo médico, creando grandes desafíos en la investigación de técnicas de representación y recuperación de información visual; en la literatura se encuentra una gran cantidad de opciones que varían según el tipo de información contenida en las imágenes que se deseen representar. El principal objetivo del desarrollo de este tipo de sistemas es apoyar el diagnóstico médico que realizan los especialistas, a través de la visualización de diagnósticos realizados a imágenes visualmente similares a la imagen de estudio, para explotar el conocimiento relacionado a imágenes que ya fueron diagnosticadas con anterioridad y de esta manera incrementar la sensibilidad y especificidad del diagnóstico imagenológico contribuyendo a disminuir la presencia de falsos positivos y/o falsos negativos en diagnósticos, los cuales pueden estar influenciados por las diferencias interobservador que se presenten al momento del estudio de las imágenes.

El cáncer de cuello uterino es una de las principales causas de muerte en mujeres en países en vía de desarrollo y es considerado como uno de los primeros problemas de salud pública a nivel mundial por las altas cifras de incidencia. Estadísticamente es el segundo tipo de cáncer más frecuente en el mundo con 500.000 casos nuevos en el año y 274.000 muertes anuales, precedido por el cáncer de seno en la población femenina. En Colombia, según estadísticas del Instituto Nacional de Cancerología (INC) (Ministerio de Salud, 2008), se ubica como primer lugar en incidencia y mortalidad en las mujeres. Los estudios histopatológico son una de las principales herramientas utilizadas para la detección de enfermedades como el cáncer de cuello uterino, es el análisis microscópico que se realiza a los tejidos de las zonas sospechosas a través de biopsias, la que determina la presencia o ausencia de lesiones premalignas (Manual de Patología Cervical, 2010). El éxito del tratamiento para cualquier paciente que presente la patología consiste en detectar la enfermedad en un estado temprano o las lesiones precursoras, algunas de estas lesiones son producidas por el Virus del Papiloma humano (VPH), responsable de la lesión premaligna conocida como condiloma Plano Viral, las cuales pueden presentar diferencias interobservador, conllevando en ocasiones a subdiagnóstico o sobrediagnóstico de esta patología.

¹ CBIR: Content-based Image Retrieval

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El diagnóstico es una de las tareas más importantes que realizan los médicos en su labor diaria, ya que es el proceso mediante el cual se llega a una conclusión en un caso clínico y se determina un tratamiento a seguir. Es por ello que un diagnóstico debe basarse en datos exactos y seguros para obtener de esta manera un razonamiento fiable por parte del especialista (R. Llobet A, 2006). Existen diferentes mecanismos a través de los cuales el especialista se fundamenta para dar un diagnóstico, entre ellos los resultados de exámenes complementarios, como por ejemplo exámenes de sangre, radiografías, resonancias magnéticas, tomografías computarizadas, endoscopias, análisis microscópicos, entre otros. Es aquí en donde se generan en la mayoría de los casos imágenes digitales, que después de un análisis médico soportan el diagnóstico dado por el especialista. Los diagnósticos que se dan a partir de dichas imágenes, en los que se determina la presencia o ausencia de una enfermedad, son guardados en el historial clínico de los pacientes, junto con una documentación que incluye recomendaciones y las imágenes digitales capturadas; documentación que con frecuencia es dejada en el olvido (Caicedo J. C., González, Romero, & Sánchez, 2007).

En los últimos años, la disponibilidad de diferentes dispositivos que permiten la captura de imágenes médicas de diferentes áreas del cuerpo, ha incrementado el uso de este mecanismo como instrumento para soportar los diagnósticos, incluso el estudio por imagen es considerado como una de las fuentes de mayor fiabilidad (Díaz, Gallego, & León., 2006) acerca de la información que se puede obtener de un paciente. Sin embargo, la evaluación que hace el experto sobre las imágenes es subjetiva, existen diferentes razones por las cuales el diagnóstico dado no es 100% confiable, entre ellas se encuentran la calidad de la imagen, la presencia de lesiones difícilmente visibles al ojo humano y la subjetividad del experto que evalúa la imagen. Esta última causa, se presenta debido a que en muchos casos existe una gran dificultad en la identificación de lesiones verdaderas en una imagen, incluso un profesional con alto grado de experiencia puede tender a equivocarse en su diagnóstico final al basarse simplemente en sus apreciaciones personales y experiencias de casos anteriores por la dificultad del análisis de la imagen, lo anterior podría dar como resultado los falsos positivos² o falsos negativos³.

Por esta razón en la actualidad, mecanismos como las técnicas de procesamiento digital de imágenes y minería de datos han sido enfocados en el desarrollo de sistemas que ayudan en la detección de lesiones o anomalías en imágenes médicas (Long & Antani, Image informatics at a national research center., 2005) (Lehmann., 2005) (Carvajal, 2009) (Caicedo. A, 2008), con el objetivo de mejorar los diagnósticos finales hechos por los profesionales. La idea es apoyar el diagnóstico que realizan los especialistas, a través de la detección automática de zonas de interés o la visualización de diagnósticos realizados a imágenes visualmente similares, éste último mecanismo

²Resultado positivo en una prueba realizada a una persona sana

³Resultado negativo en una prueba realizada a una persona enferma

permite explotar el conocimiento relacionado a imágenes que ya fueron diagnosticadas con anterioridad, permitiendo el acceso a los diagnósticos de dichas imágenes que presentan características similares a la imagen que se quiere diagnosticar.

Por otro lado, la recuperación de Imágenes basada en contenido (CBIR, Content-Based Image Retrieval) surge como la solución al problema que se ha presentado en los últimos años con la creciente producción de información visual, debido a que el método que se utilizó inicialmente para indexar y recuperar este tipo de información fue el anexo de palabras claves a las imágenes, pero los grandes volúmenes de información que surgían día a día hicieron de este método una tarea dispendiosa y subjetiva para quienes la realizaban. Adicionalmente, las limitaciones de describir totalmente una imagen en términos textuales y la subjetividad para hacerlo junto a la necesidad de crear sistemas que permitan la exploración y/o visualización de grandes colecciones de imágenes (Camargo, J.Caicedo, & F.González., 2009) (Camargo & González., 2009), así como su organización y clasificación automática dentro de una base de datos, induce a la creación de un mecanismo que permita recuperar imágenes a partir de su contenido, representado a partir de sus propiedades visuales⁴ (Caicedo, Romero, & González., 2007). Es así como una de las soluciones adoptadas ante la creciente producción de imágenes digitales en diferentes campos de trabajo, ha sido el desarrollo de sistemas de recuperación de imágenes basada en contenido visual, que permiten al usuario encontrar sus imágenes sin necesidad de explorar todos los registros de una colección o evitar formular una consulta basándose en palabras claves, sino que a través de las propiedades visuales que describen la imagen sobre la cual se formula la consulta, se logre recuperar de la colección las imágenes que presenten un alto grado de similitud con dichas propiedades (Santini & Gupta., 2000). Existen diferentes características que permiten evaluar el desempeño de un sistema CBIR, como por ejemplo la relevancia de las imágenes que son recuperadas en una consulta (Müller, 2004) y su tiempo de respuesta.

Considerando la necesidad de procesar y administrar los grandes volúmenes de información visual que se producen en campos como la medicina con las imágenes diagnósticas, de tal manera que este tipo de información ayude a los especialistas en el proceso de toma de decisiones clínicas, basándose en el conocimiento representado en las propiedades visuales de las imágenes, surge la necesidad del desarrollo de sistemas de recuperación de imágenes médicas por contenido, sistemas que cobran importancia en campos de la medicina como el razonamiento basado en casos y la medicina basada en evidencia (Müller, 2004).

Teniendo en cuenta lo anterior, con respecto a la dificultad de diagnosticar imágenes médicas, su creciente producción y la falta de una herramienta que permita la recuperación de imágenes microscópicas de cuello uterino, se plantea la siguiente pregunta de investigación **¿Cómo apoyar con el uso de las TIC⁵ el diagnóstico sobre imágenes microscópicas digitales de cuello uterino que de soporte a los profesionales en Patología en la detección del Condiloma Plano Viral?**

⁴Propiedades visuales: Color, textura, formas, bordes, entre otros.

⁵ TIC: Tecnologías de la Información y la Comunicación.

Actualmente los sistemas CBIR desarrollados para el campo médico, en donde la producción de imágenes digitales tiene una alta tasa de crecimiento debido a la práctica de diferentes exámenes que originan grandes volúmenes de información visual diariamente (Caicedo, Romero, & González., 2007), han surgido como herramientas para la administración y gestión de este tipo de información, así como también para dar soporte a la toma de decisiones clínicas o al entrenamiento de nuevos profesionales de la salud, en el área específica a la que correspondan las imágenes que permite recuperar el sistema, dado que el sistema no solo da como resultado a una consulta las imágenes visualmente similares, sino que ofrece también sus respectivos diagnósticos que han sido proporcionados por expertos en el tema, dando esto soporte al diagnóstico de la imagen de estudio (Muller, 2004). Por lo anterior, es importante resaltar que a través de la implementación de sistemas CBIR, las imágenes médicas que se producen diariamente en los hospitales y clínicas, pueden dejar de ser un conjunto de datos que se almacenan y que no representan alguna utilidad, para convertirse en una herramienta de ayuda en la interpretación de nuevas imágenes, ya que poseen diagnósticos realizados por expertos y confirmados por los resultados que arrojan las biopsias.

De esta manera, en la actualidad los sistemas CBIR desarrollados para el campo médico tienen como objetivo principal brindarle una ayuda al especialista que dará un diagnóstico a una imagen medica en particular, esto debido a la dificultad que se presenta en la lectura de dichas imágenes (Caicedo J. C., González, Romero, & Sánchez, 2007) (Díaz, Gallego, & Leon, 2006) y la facilidad con la que se podría equivocar el especialista en el momento de dar su diagnóstico final.

Este proyecto pretende contribuir con el avance en el desarrollo de los sistemas CBIR en el campo de la medicina, realizando la investigación con un tipo de imágenes con características diferentes a las utilizadas en la mayoría de proyectos desarrollados anteriormente, e implementar un prototipo de sistema software que sirva como herramienta de apoyo en los diagnósticos realizados por profesionales en el área de Patología, que ayude en la identificación de algunas lesiones casi invisibles que se producen en el Útero y que pueden ocasionar Cáncer de Cuello Uterino (Profamilia, 2011), con el fin de que la herramienta que se desarrolle dé soporte al proceso de toma de decisiones clínicas e incluso logre disminuir los tiempos de interpretación de una imagen por parte del especialista.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Construir un prototipo⁶de sistema de recuperación de imágenes digitales microscópicas de cuello uterino basado en contenido visual, que soporte el diagnóstico médico del Condiloma Plano Viral.

⁶Prototipo: Un prototipo es una representación de un sistema software, aunque no es un sistema completo, posee las características del sistema final o parte de ellas.

1.2.2. Objetivos específicos

- Analizar técnicas de extracción de características del proceso de reconocimiento de patrones que permitan seleccionar un conjunto de características visuales que describan el contenido de las imágenes digitales microscópicas de Cuello Uterino.
- Diseñar e implementar un prototipo de sistema de recuperación de imágenes microscópicas basado en contenido visual.
- Integrar al prototipo métricas o funciones de similitud basadas en la norma LP (Acuna, 2002) y (Dudoit & Getleman, 2002) que permitan definir el grado de similaridad que existe entre un par de imágenes microscópicas del cuello uterino.
- Evaluar el funcionamiento del prototipo desarrollado, a través de la construcción de una matriz de confusión⁷ que permita determinar la exactitud de recuperación del prototipo.

1.3. PRODUCTOS

El modelado y la construcción del prototipo software fueron realizados empleando el Proceso Unificado Ágil como metodología, de esta manera se aplicaron técnicas ágiles para la construcción del prototipo como modelado ágil, gestión de cambios ágil, entre otras. A continuación se describe la estructura del documento que detalla la investigación, construcción y evaluación del prototipo construido.

Capítulo 1: Introducción este capítulo describe el planteamiento del problema, los objetivos del proyecto y la estructura del documento.

Capítulo 2: Marco Teórico en este capítulo se realiza una descripción en detalle de las teorías que fundamentan la investigación y ejecución del proyecto.

Capítulo 3: Selección de Técnicas de Extracción de Características y Funciones de Similitud Este capítulo describe el funcionamiento y adecuación de los algoritmos implementados para el proceso de caracterización de las imágenes de biopsias de cuello uterino y las funciones de similitud empleadas para determinar el grado de similitud presente entre un par de imágenes digitales de cuello uterino.

Capítulo 4: Prototipo De Sistema De Recuperación De Imágenes Microscópicas Basada En Contenido Visual Para El Asesoramiento Del Diagnóstico De Condiloma Plano Viral En este capítulo se documenta las actividades de modelado realizadas para

⁷ Matriz de Confusión: Herramienta que permite probar la exactitud del funcionamiento de un sistema de consulta o clasificación, evaluando los valores de las celdas de la matriz, la cual es llenada teniendo en cuenta los aciertos y desaciertos de una clasificación o consulta.

diseñar el prototipo teniendo como metodología de desarrollo el Proceso Unificado Ágil (AUP).

Capítulo 5: Implementación del Prototipo En este capítulo se describe las actividades realizadas y asociadas a la construcción del prototipo e implantación.

Capítulo 6: Pruebas En este capítulo se describe las pruebas de unidad realizadas al prototipo para validar el correcto funcionamiento a los componentes analizados y las pruebas para ajustar los algoritmos relacionados a la extracción de características.

Capítulo 7: Evaluación del Prototipo En este capítulo se describe el proceso de evaluación del prototipo con el fin de obtener un porcentaje de confiabilidad en las respuesta entregadas por el prototipo en las consultas formuladas.

Capítulo 8: Conclusiones, Recomendaciones y Trabajo Futuro En este capítulo se describen las conclusiones obtenidas a partir del trabajo realizado en el proyecto y se proponen algunas recomendaciones y mejoras a tener en cuenta para trabajos futuros.

2. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

En este capítulo se construye una base conceptual de las diferentes teorías estudiadas que fundamentan el desarrollo del proyecto. Ésta base fue construida a partir de la consulta principalmente de artículos, tesis, trabajos de grado y otros medios de información y se describe a continuación.

2.1. SISTEMAS CBIR

Los avances en las tecnologías de la información, internet y la gran disponibilidad de dispositivos que permiten la captura y almacenamiento de imágenes han traído un enorme crecimiento en la producción de imágenes digitales en distintos campos de trabajo, por lo que ha surgido la necesidad de encontrar un método que sea efectivo para la gestión y recuperación de este tipo de información. La recuperación de imágenes basada en contenido ha sido uno de los principales enfoques que ha llamado la atención en la investigación para encontrar una solución a esta necesidad. Empleando características de bajo nivel que describen el contenido visual de las imágenes y que son extraídas automáticamente, se realiza la comparación de imágenes a través de funciones de similitud para determinar el grado de similaridad presente entre un par de imágenes (Yang., 2004).

2.1.1. Antecedentes de sistemas CBIR en ambientes médicos.

El campo médico no ha sido ajeno a la alta tasa de producción de material visual que se ha presentado en los últimos años. En esta área la creciente producción de este tipo de información ha ocurrido gracias a la práctica de exámenes complementarios que son ordenados por los médicos para servir como fuente de información de los pacientes. En la mayoría de los exámenes complementarios se generan imágenes digitales que se utilizan en el momento de realizar el diagnóstico del paciente y que luego de soportar el diagnóstico dado por el médico, son archivadas junto con toda la información relacionada al caso clínico, sin representar ningún tipo de utilidad para los nuevos diagnósticos que puedan ser realizados ante situaciones similares.

Una de las principales dificultades a las que se enfrentan los médicos diariamente en el *estudio por imagen* de los pacientes es la búsqueda de información confiable que puedan extraer de las imágenes que analizan, ya que ésta no es una tarea fácil, la dificultad de diagnosticar las imágenes médicas crece en la medida en que la imagen que se analiza no tenga una buena calidad, afecte negativamente la subjetividad del experto que la evalúa y en la imagen haya presencia de lesiones difíciles de identificar por el ojo humano, causando así errores en la generación del diagnóstico final y provocando los llamados falsos positivos y falsos negativos.

Por esta razón en los últimos años, mecanismos como las técnicas de recuperación de imágenes basada en contenido, procesamiento digital de imágenes y minería de datos

han sido enfocadas en el desarrollo de sistemas que ayudan en la detección de lesiones o anomalías en imágenes médicas (Long & Antani, 2005) (Lehmann T. M., 2005) (Gutiérrez Carvajal, 2009) (Caicedo. A, 2008), con el objetivo de mejorar los diagnósticos finales hechos por los profesionales. La idea es apoyar el diagnóstico que realizan los especialistas, a través de la detección automática de zonas de interés o la visualización de diagnósticos realizados a imágenes visualmente similares, éste último mecanismo permite explotar el conocimiento relacionado a imágenes que ya fueron diagnosticadas con anterioridad, permitiendo el acceso a los diagnósticos de dichas imágenes que presentan características similares a la imagen que se quiere diagnosticar.

En investigaciones preliminares se han desarrollado sistemas CBIR que trabajan con bases de datos de imágenes médicas, y que tienen como objetivo convertirse en una herramienta que sirva para apoyar el entrenamiento de los nuevos profesionales de la salud o dar soporte a los especialistas en el proceso de diagnosticar una imagen médica, para casos en los que la detección de lesiones sea compleja. Aplicaciones como:

- The IRMA Project: Image Retrieval in Medical Applications (Lehmann, Güld, Thies, Fischer, & Spi, 2003), el objetivo de este proyecto fue automatizar la clasificación de radiografías basándose en características globales de la imagen, para ello implementa métodos de alto nivel como la incorporación del conocimiento médico para la clasificación y recuperación de imágenes basada por contenido en aplicaciones médicas. Aplicaciones que son diseñadas e implementadas para dar soporte a tareas de diagnóstico en imágenes digitalizadas de radiología, permitiendo consultas semánticas sobre la base de datos de imágenes médicas. Adicionalmente, a través de la interfaz se puede realizar consultas por imágenes de ejemplo que permiten redirigir una consulta, seleccionando los resultados relevantes y formular la consulta por imágenes de ejemplo con las imágenes seleccionadas. A diferencia del prototipo que se desarrollará en el presente proyecto, el cual será un prototipo de sistema de recuperación y no de clasificación automática de imágenes. Por otro lado, IRMA soporta recuperación de un tipo de imágenes que capturan información de una banda del espectro electromagnético diferente al espectro en el que se capturan las imágenes microscópicas, así como tampoco el prototipo a desarrollar soportará recuperación a través de métodos de alto nivel o consultas semánticas, debido a que su recuperación será basada únicamente en la comparación del contenido visual de las imágenes.
- HRIMAC: Herramienta de Recuperación de Imágenes Mamográficas por Análisis de Contenido para el Asesoramiento en el Diagnóstico del Cáncer de Mama (Martí, Frexenet, Raba, Bosch, & Pont, 2004), esta herramienta permite a partir de una imagen mamográfica recuperar de diversas bases de datos públicas las n mamografías con mayor grado de similitud visual a la imagen dada. La respuesta que brinda el sistema a una consulta es un conjunto de mamografías con características visuales similares a la imagen de estudio junto con sus respectivos diagnósticos. El análisis del especialista a dichos diagnósticos permite facilitar la interpretación de la imagen de estudio. Su principal diferencia con el presente proyecto de investigación, es el tipo de imágenes médicas con las que se alimenta la base de datos de HRIMAC, ya que estas imágenes capturan información de un espectro diferente al espectro en el que se capturan las imágenes microscópicas de cuello uterino.

- ASSERT: Automatic Search and Selection Engine with Retrieval Tools (Shyu, Brodley, Kak, & Kosaka, 1999), sistema desarrollado en la Universidad de Purdue, su principal aplicación apunta a la recuperación de imágenes producto de tomografías computarizadas, en donde el objetivo es identificar los pulmones en la tomografía que se está analizando. Adicionalmente, este sistema permite al médico delinear en la imagen que examina alguna forma o figura que desee encontrar en las imágenes de la base de datos, esta característica de ASSERT se convierte en la principal diferencia con el prototipo a desarrollar, porque cualquier subregión que delinee el médico se convertirá en la imagen que se buscará por contenido en las imágenes de la base de datos, mientras que el prototipo a desarrollar no soportará esta función. Por otro lado, las imágenes que permite recuperar ASSERT son tomadas en un espectro diferente al que se toman las imágenes microscópicas.
- VIR Image Engine (Bach, Fuller, Gupta, Hampapur, & Goro, 1996), es un motor que proporciona un marco de trabajo para la creación de sistemas de recuperación de imágenes basada en contenido, a través de primitivas que encapsulan características visuales de la imagen, dichas primitivas pueden ser muy generales como por ejemplo el color, la textura, los bordes, entre otras, o bien, las primitivas pueden ser para un dominio específico como por ejemplo el reconocimiento de rostros o detección de un tipo de cáncer en imágenes médicas. Adicionalmente, la colección de primitivas o configuraciones del motor puede ser extendida, esto es, la creación de nuevas primitivas para nuevos campos de aplicación con los que se desee trabajar. A pesar de ser un poderoso framework que facilita considerablemente el desarrollo de sistemas CBIR, VIR es un producto comercial, y la documentación existente y de fácil acceso expone que este framework ofrece la extensión del mismo, a través de herramientas GUI que permiten crear las interfaces de usuario para insertar y consultar las imágenes, por lo que en este proyecto se descarta su uso, así sea como fuente de información o aprendizaje.
- QBIC: Query By Image Content (Flickner, et al., 1995)c, fue desarrollado por IBM convirtiéndose en el primer sistema comercial de recuperación de información visual, es decir, imágenes y video. Soporta consultas por imagen de ejemplo, por texto, bosquejos hechos por el usuario o especificaciones de color y textura que pueden ser hechas desde una imagen ya existente. Una de sus principales características es su método de indexación multidimensional que permiten a través de R*-trees indexar características de color, forma y textura; incrementando con ello el rendimiento del sistema alimentados con grandes volúmenes de información. Por otro lado, QBIC es eficiente evaluando similitud sobre características globales y muy generales de la imagen, pero en muchos dominios la descripción de imágenes y posterior recuperación a partir de una simple caracterización global no garantiza resultados satisfactorios en la búsqueda. Por lo anterior, QBIC tiene un desempeño deficiente al ponerlo en funcionamiento en un entorno clínico, en donde la información útil para evaluar similitud debe hacerse sobre características más complejas, por ejemplo, en radiología medica interesa encontrar altas variaciones en los niveles de gris de la imagen para identificar algunos tejidos (Shyu, Brodley, Kak, & Kosaka, 1999). Es por ello que, el prototipo a desarrollar en este

proyecto, evaluará una caracterización propia de las imágenes microscópicas de las biopsias de cuello uterino.

- NeTra: A Tool Box For Navigating Large Image Databases (Ma, 1997), desarrollado por el departamento de ingeniería eléctrica y computación de la Universidad de California. La consulta en este sistema se realiza a través de la segmentación de la imagen consulta en regiones de color homogéneo, partiendo de estas regiones identificadas se realiza el proceso de extracción de características en cada una de las regiones. De esta manera se busca en la base de datos de imágenes, regiones similares a las que fueron segmentadas en la imagen consulta. Las características que se pueden extraer son color, textura, forma y las relaciones espaciales que se dan entre las regiones de la imagen. El prototipo que se desarrollará a diferencia de NeTra, no tendrá en cuenta las relaciones espaciales de las posibles regiones que se logren identificar en la imagen microscópica de cuello uterino.

- Prototipo de Sistema para Almacenamiento y Recuperación por Contenido en Imágenes Médicas de Histopatología (Caicedo, González, & Romero, 2007), es un proyecto desarrollado por los Laboratorios de Investigación de Sistemas Inteligentes (LISI) y Bioingenium de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Es una herramienta computacional de consulta de diagnósticos e imágenes de histología. El sistema desarrollado está estructurado en módulos que permiten manipular y procesar las imágenes de histología, extraer características visuales de las imágenes y consultarlas a través de recuperación por contenido a partir de una imagen consulta, utilizando métricas de similitud que permitan definir qué tan parecida es una imagen a otra. La principal diferencia con el prototipo que se construirá en este proyecto es el tipo de información capturada en las imágenes que se pueden recuperar de la base de datos, debido a que la representación visual que se realiza de imágenes microscópicas de histopatología de sistema de LISI se basa en la caracterización de patrones morfológicos que permiten evaluar la similitud a nivel celular y determinar características propias del cáncer de piel, mientras que el prototipo a desarrollar aunque evaluará la similitud de las imágenes a nivel microscópico, la recuperación se basará en una caracterización propia de los rasgos morfológicos que presenten las imágenes microscópicas del cuello uterino. Adicionalmente, el prototipo que se desarrollará permitirá detectar lesiones del VPH que se presentan en el cuello uterino antes de diagnosticarse cáncer; convirtiéndose así en una herramienta preventiva a diferencia del sistema desarrollado en la universidad Nacional que facilita el diagnóstico de la presencia o ausencia de cáncer de piel en una imagen.

- Sistema de consulta de diagnósticos e imágenes médicas mediante Web (Loaiza & Millán, 2004), desarrollado por los grupos de investigación PSI y GEDI de la universidad del Valle. Es un sistema que permite el asesoramiento a los especialistas en la interpretación de un examen médico (Imagen) o ayudar en la formación médica de nuevos profesionales del campo. Por otro lado, gracias al diseño del sistema, se pueden adicionar nuevas imágenes médicas que presenten otro tipo de patologías. A pesar de esta última característica, para adicionar nuevas imágenes es necesario desarrollar un nuevo módulo que soporte el proceso de caracterización y comparación de las nuevas imágenes.

- DORIS: Sistema para la recuperación de imágenes de piezas Mecánicas y de Automatización Utilizando Descriptores de Textura (Jaramillo & Bedoya, 2008), es un sistema desarrollado en la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, en donde se utiliza la detección de discontinuidades en bordes y líneas para la extracción de características de la Imagen ejemplo, las cuales son comparadas con las características de textura de las imágenes almacenadas en la base de datos y de esta manera se determina su grado de similitud con la imagen ejemplo. La principal diferencia con el prototipo a desarrollar es el tipo de imágenes que almacena en su colección, debido a que son imágenes de piezas mecánicas en las que al calcular la similitud interesa evaluar características globales de la imagen, y evitar las características que definen pequeños rasgos visuales, a diferencia de los sistemas CBIR desarrollados para el campo médico en donde tener en cuenta algunos detalles mínimos de la imagen pueden determinar la presencia o ausencia de una patología, de esta manera en la implementación del prototipo si se van a tener en cuenta los rasgos mínimos de las imágenes que permitan identificar el Condiloma Plano Viral.
- Caracterización de células del epitelio escamoso del cérvix (Sossa Mendoza, 2001): en este proyecto se presenta un método de clasificación de células del cérvix a partir de la caracterización individual de células presentes en imágenes digitales de citologías vaginales. Sin embargo, el sistema construido no es un sistema CBIR y las imágenes digitales son producidas a partir de citologías a diferencia de la propuesta planteada en este proyecto, en donde se empleara un proceso de caracterización de contenido visual de imágenes digitales de biopsias de cuello uterino; en este tipo de imágenes se encuentran tejidos del cérvix extraídos a partir de una biopsia de cuello uterino para realizar estudios histopatológicos más avanzados a los que se puedan realizar en una citología vaginal.
- Identificación de células displásicas en el epitelio vaginal (Muños Arcos, 2006): en este proyecto se plantea un proceso de caracterización de células individuales presentes en imágenes digitales de citologías vaginales empleando técnicas de procesamiento digital de imágenes para segmentar regiones e identificar las células, por cada célula identificada se calculan un conjunto de medidas y relaciones asociadas al tamaño de las estructuras celulares, y finalmente estas características son evaluadas a través de una función de similaridad para clasificar las células. Sin embargo, el sistema construido no es un sistema CBIR sino un sistema de clasificación y las imágenes digitales empleadas no permiten hacer análisis los mismos análisis histopatológicos de los tejidos del cérvix que permiten hacer las imágenes de biopsias de cuello uterino empleadas en este proyecto.

En conclusión, a nivel general el presente proyecto de investigación se diferencia de los sistemas CBIR existentes y desarrollados para el campo médico, en que la mayoría de estos proyectos trabajan con imágenes tomadas a escala de grises, imágenes que capturan información de un espectro invisible al ojo humano, por ejemplo las tomografías computarizadas, las radiografías y las resonancias magnéticas, que son imágenes que representan una visualización de radiaciones electromagnéticas con mayor o menor longitud de onda a la que presenta el espectro visible en el que se capturan las imágenes

microscópicas. Es por ello que surge la necesidad de avanzar hacia el desarrollo de nuevos sistemas CBIR en el campo médico, en los que se procesen imágenes que no han sido tenidas en cuenta en proyectos anteriores, como por ejemplo, las imágenes microscópicas que resultan a partir de una biopsia del cuello uterino en las que se realizan análisis sobre los tejidos para identificar alteraciones en las estructuras celulares.

2.2. CONTEXTO MÉDICO

2.2.1. VPH (Virus del Papiloma Humano)

Son un grupo de aproximadamente 150 virus relacionados, cerca de 40 son transmitidos a través de contacto sexual, afectan el área anogenital, cavidad oral o garganta en hombre y la mujer. El Virus del Papiloma Humano (VPH) puede tardar años en hacerse evidente y es el principal causante de lesiones malignas que producen cáncer de cuello uterino (Profamilia, 2011)

El VPH es un virus que puede origina una serie de cambios en la información genética de las células del cuello uterino haciendo que éstas se transformen en células cancerosas. El VPH es un factor determinante para provocar el desarrollo del cáncer de cuello uterino (Profamilia, 2011).

2.2.2. Cáncer de Cuello Uterino:

El cáncer de cuello uterino es el crecimiento anormal o no controlado de las células del cuello uterino convirtiéndolas en malignas. Causada principalmente por los diferentes Virus de Papiloma Humano existentes (cualquier hombre o mujer sin importar su orientación sexual, puede portar el virus y transmitirlo) (Profamilia, 2011). Esta patología presenta lesiones precursoras llamadas lesiones intraepiteliales de cuello uterino, lesiones que se producen en los tejidos del cuello uterino por infección del VPH (MSD, 2011).

El proceso de diagnóstico de esta patología consiste en realizar un análisis citológico de las células vaginales y posteriormente si se identifican alteraciones remitir a un estudio histopatológico a través de una biopsia de cuello uterino. La biopsia de Cuello Uterino es un proceso empleado para la extirpación de un pequeño fragmento de una lesión del epitelio del cérvix mediante una biopsia y posteriormente realizar el análisis histopatológico.

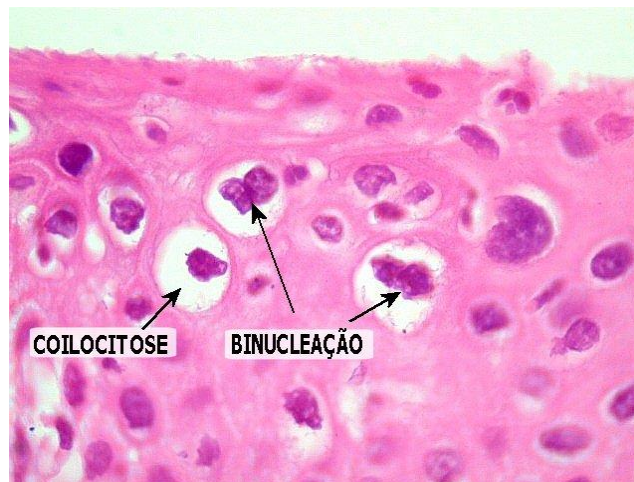
2.2.3. Criterios de Diagnóstico del VPH

Las lesiones se detectan con el examen ginecológico, la Colposcopia y el Papanicolau en el caso de las lesiones planas. El diagnóstico se realiza mediante la biopsia debido a que el virus produce alteraciones a nivel del epitelio que son diagnosticadas por el patólogo. (Manual de Patología Cervical, 2010) .

CRITERIO	PUNTAJE
Coilocitos	4
Bi o multinucleación	2
Disqueratosis	1
Papilomatosis	1
Hiperplasia de las células basales	1
Acantosis	1

Tabla 1. Criterios de Toki

En las figuras 1 y 2 se pueden observar lesiones con alteraciones morfológicas producidas por el VPH en el tejido de cuello uterino, las cuales al ser identificadas por parte de patólogo durante el estudio histopatológico de la biopsia determinan la presencia de VPH.



FUENTE: Tomado del trabajo de (Manual de Patología Cervical, 2010)
Figura 1. Lesión con alteraciones de VPH (Coilocitos y Binucleación)



FUENTE: Tomado del trabajo de (Manual de Patología Cervical, 2010)
Figura 2. Lesión con alteraciones de VPH (Disqueratosis)

2.3. EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS

La extracción de características en un sistema CBIR es el proceso con el que se obtiene la descripción por contenido visual de una imagen digital, esta descripción es empleada para diferenciar una imagen de otra en la recuperación por contenido. A continuación se hace una descripción de las principales propiedades visuales que se consideran para realizar la caracterización de una imagen junto con las principales técnicas de extracción de características.

2.3.1. Características de Imágenes

Las características de las imágenes hacen referencia a las propiedades que describen en términos visuales el contenido de cada imagen, estas propiedades son usadas en CBIR en la evaluación de similitud entre las imágenes y son extraídas directamente de cada imagen. Por lo anterior la importancia del proceso de extracción de características en donde se extrae la información de las imágenes que permitirá comparar y determinar el grado de similitud que existe entre un par de imágenes.

Los estudios en el área de desarrollo de sistemas CBIR enfocan los esfuerzos en el cálculo de características que permitan representar el contenido de las imágenes para ser empleadas en la recuperación, este proceso de caracterización se realiza a través de procesamiento digital de imágenes y técnicas de visión por computador (Yang., 2004). Por lo general las características empleadas en los sistemas CBIR incluyen información acerca del color, la textura, la forma, los bordes y la estructura, también se incluyen características que representen conocimiento específico del dominio de aplicación, por ejemplo, si el sistema que se desarrolla es un CBIR para reconocimiento facial, se requieren características de la imagen que representen en gran medida el contenido que interesa en el reconocimiento de rostros.

Cada imagen digital es representada empleando un vector de características n -dimensional que almacena información de su contenido, en donde n es el número de características que se extrae de la imagen para ser usadas en la comparación de imágenes en el proceso de recuperación. Éste conjunto de características es la clave para el buen comportamiento de un sistema CBIR, ya que depende directamente de la relevancia de las características escogidas y el poder de discriminación que tengan para distinguir entre imágenes con alto grado de similitud o disimilitud.

Existen varios tipos de características que pueden ser extraídas de las imágenes para la representación de su contenido, estas características son usadas según sea su rendimiento en la representación del contenido de la imagen. Por ejemplo, las características cromáticas y de textura se comportan mejor en imágenes generales, las características que representan información acerca de las formas identificadas en la imagen tienen un mejor rendimiento en imágenes que contienen gráficos construidos en computador y las características estructurales, en imágenes que contienen objetos construidos por el hombre, tales como los son las edificaciones (Yang., 2004).

2.3.1.1. Características Cromáticas

Las características relacionadas al color en las imágenes son un elemento importante en la representación del contenido, las zonas capturadas en la imagen que se muestran como regiones homogéneas, por ejemplo los fondos, tienen distintas propiedades de color que permiten distinguir la región, por ejemplo, el bosque, la hierba o el césped es verde, el cielo es azul y el color de la piel humana tiene una serie de colores que permiten identificarla.

Existen diferentes sistemas que permiten representar el color en una imagen, uno de ellos es a través de un sistema de coordenadas tridimensional en el que se expresa cada color como un vector. Sin embargo, la elección del espacio de color también depende del tipo de información que se desee extraer de la imagen, por lo que debe ser una decisión que se toma antes de usar las características de color en un sistema CBIR (Yang., 2004).

Uno de los espacios de color más populares es red, green, blue (RGB), aunque no es el sistema que mejor corresponda a la percepción humana es uno de los más empleados y la representación estándar usada para las características de color son los histogramas de color.

2.3.1.2. Características de Textura

La textura se define como la repetición de un patrón que puede tener un periodo de repetición bien definido o con ciertas alteraciones. Uno de los aspectos importantes de la textura es que la posición del patrón de repetición se comporta de manera independiente a la percepción visual, ya que el patrón de la textura se repite en la superficie capturada en la imagen y esto eliminara las posibles varianzas que puedan surgir a partir de los desplazamientos que tenga la imagen (La Serna Palomino & Alvarado Ramírez, 2010).

La textura en una imagen digital permite obtener información acerca de la distribución espacial de los niveles de intensidad en un vecindario de píxeles. En estudios anteriores se ha afirmado que la percepción humana usa mecanismos que identifican propiedades visuales que discriminen entre diferentes patrones de textura (Moses & Robert, 1989).

Por otro lado, el análisis computacional de texturas en imágenes médicas es una buena fuente para la extracción de información clínica. Por ejemplo, el análisis de textura de una mamografía obtiene información acerca de la distribución de tejidos, con lo cual se puede determinar la presencia o ausencia de una patología (Narvez Espinoza, 2010).

Existen diferentes métodos de análisis de textura que son agrupados en cuatro categorías: estadísticos, basados en modelos, geométricos o estructurales y los basados en transformadas o procesado de señales (Maldonado Bautista, 2008) y (Howarth P. , 2007).

- Estadísticos:

Se aplican en primer y segundo orden, los métodos de primer orden consideran píxeles simples, por ejemplo un histograma que exponga la densidad de los niveles de gris de la

imagen y del cual se pueda extraer información estadística como la media, mediana o varianza (Maldonado Bautista, 2008). Los métodos de segundo orden emplean pares de píxeles para sus análisis, por ejemplo, la matriz de coocurrencias utiliza el análisis entre parejas de píxeles para construir descriptores de la imagen que representen la energía, la entropía, correlación, etc.

- Basados en Modelos

Los métodos basados en modelos definen parámetros de modelos que actúan sobre los píxeles de la imagen. Estos parámetros que se estiman representan características de la textura de la imagen que se está analizando (Maldonado Bautista, 2008).

- Geométricos o Estructurales

Usualmente son empleados sobre texturas que son muy regulares, este grupo de métodos interpreta a la imagen como una composición de elementos y el análisis lo realiza basándose en las propiedades geométricas que presente la imagen (Howarth P. , 2007).

- Basados en Transformadas o Procesado de Señales

Estos métodos permiten aplicar técnicas de procesamiento de señales para hacer el análisis de la imagen, es así como se aplican filtros, máscaras de detección de bordes o transformadas para obtener información acerca de la potencia del espectro, segmentación de planos transformados y la orientación o la magnitud de los componentes relacionados al patrón de frecuencia de la textura presente en la imagen.

2.3.1.3. Características de Forma

Las técnicas empleadas para la representación del contenido de la imagen usando la información que se pueda extraer de los objetos identificados por la percepción visual, se enfoca en la detección automática de éstos y en la segmentación de las regiones ocupadas en la imagen por los objetos. Sin embargo, esta tarea no es fácil de implementar; los métodos funcionan bien sobre imágenes que contienen objetos los cuales son fáciles de aislar del resto de la imagen, y la complejidad de implementación de estos métodos se incrementa cuando la colección de imágenes que se analiza son imágenes reales, debido a que en éstas no es fácil identificar los objetos porque con frecuencia los objetos se encuentran solapados entre sí.

Este tipo de características pueden ser extraídas empleando técnicas que son agrupadas de la siguiente manera:

- Basadas en contornos

Estos métodos se basan en la representación de la diferencia de la intensidad que se presenta en la imagen entre dos regiones vecinas, con lo que se indica la presencia de un borde. A partir de la identificación de los bordes de una imagen, se puede emplear

esta nueva imagen como una característica del contenido de la imagen que se analizó o se puede explotar la nueva imagen y extraer nuevas características.

- Basadas en mapas de bordes

Este tipo de técnicas son utilizadas cuando las imágenes que se analizan contienen objetos difíciles de identificar, por lo que adicionalmente tienen que ser aplicadas funciones de detección de fronteras, especializadas en reunir los píxeles de los bordes de los diferentes objetos que se encuentran en la imagen.

- Basadas en regiones

El objetivo es extraer regiones que representan el espacio ocupado por los objetos en la imagen, para ser procesadas de manera independiente, es decir, la imagen es dividida en regiones y por cada región se extraen un conjunto de características. En este tipo de técnicas se acostumbra a usar información relacionada al color y la textura para agrupar píxeles que representen a una misma región y de esta manera identificar objetos, para posteriormente segmentarlos y detectar aquellos objetos de interés.

2.3.2. Técnicas de extracción de características

Las técnicas de extracción de características son los procedimientos que permiten aplicar funciones a las imágenes para obtener información acerca del contenido de la imagen y representarlo en un vector de características, según los enfoques anteriormente explicados.

2.3.2.1. Histogramas de Intensidad y de Color

Esta técnica considera las imágenes como variables aleatorias que pueden representar a través de histogramas la distribución de probabilidad de colores que contienen. Cada histograma generado a partir del análisis de una imagen representa una partición del espacio de colores empleado. Por ejemplo, si el espacio de colores que se está utilizando es RGB, el plano Red de una imagen puede ser representado en un histograma que contenga la distribución de los 256 posibles niveles de gris en ese plano.

2.3.2.2. Partición Binaria Local (Local Binary Partition LBP)

Este descriptor es usado en aplicaciones de recuperación de imágenes que necesiten obtener información acerca de la textura de la imagen (Romero, González, Sánchez, & Caicedo, 2007).

La manera cómo se define la extracción de la información de textura de la imagen en este método, es empleando un histograma que plasme la distribución de la intensidad del vecindario de cada píxel P de una imagen I . Para ello, sobre cada píxel de la imagen se examinan sus 8 vecinos directamente conectados y evaluando si cada píxel vecino tiene una mayor o menor intensidad se marca 0 ó 1 respectivamente a la posición de vecindad que se acaba de evaluar, luego de haber evaluado la vecindad del píxel analizado se

codifica una cadena binaria que exprese los 8 bits del vecindario que indican la distribución de intensidad en su vecindario. El espacio de valores de las cadenas binarias que se puedan generar corresponde a $2^8 = 256$, de esta manera se puede calcular una distribución de intensidades que represente la textura de la imagen y representarlo en un histograma al igual que el color.

2.3.2.3. Histograma de Sobel

El operador de Sobel es uno de los descriptores más populares en las aplicaciones que emplean detección de bordes para representar el contenido de las imágenes. Se basa en calcular la diferencia de intensidad que hay en el vecindario de cada pixel P de la imagen I en las direcciones vertical y horizontal. Esto también es interpretado como la derivada de la función en el punto. EL vecindario que se evalúa con el operador de Sobel es definido según sea su comportamiento y rendimiento y de igual manera se define el tamaño de los operadores aplicados, por lo general los operadores son de 3×3 y el vecindario es la 8-vecindad de cada pixel; al aplicar el operador en cada pixel se obtiene la magnitud de cambio en esa vecindad para ese pixel y al construir el histograma basándose en la magnitud de cambio de la vecindad de cada pixel de la imagen, se obtiene la distribución de cambios de toda la imagen.

2.3.2.4. Histograma de Características Invariantes

Este método consiste en modelar las características que sean invariantes al conjunto de posibles transformaciones que pueda sufrir la realidad en el momento de la captura de la imagen digital. Debido a que los objetos en una escena capturada en una imagen digital están expuestos a múltiples y complejas transformaciones que pueden presentarse en el momento en que se proyectan en el plano de la imagen, esta técnica apunta a identificar y advertir cuales son las posibles transformaciones que pueden sufrir los objetos cuando se proyectan en el plano y de esta manera lograr identificar qué información representa el verdadero contenido de la imagen.

A través de técnicas como la integración, se define el conjunto de las G transformaciones que pueden ocurrir sobre la imagen, luego se aplican sucesivamente sobre la imagen y se define una estrategia que permita obtener la imagen promedio de los resultados de las transformaciones aplicadas en la imagen original.

2.3.2.5. Texturas de Tamura

Las características de Tamura tienen un elemento importante, su diseño fue basado en los resultados arrojados por parte de experimentos sicofísicos relacionados a la percepción humana. En estos experimentos se definieron 6 propiedades que los humanos usan para diferenciar o reconocer texturas y de esta manera caracterizarlas para poder medirlas.

Tamura tomo un enfoque de representación de las características de textura basándose en la forma como la percepción humana la interpreta. Se identificaron 6 aspectos que usa el sistema de visión de los humanos para discriminar entre texturas: coarseness,

contraste, direccionalidad, line-likeness, regularidad y aspereza. Es así, como las características de Tamura fueron diseñadas para medir esos 6 aspectos. Los tres primeros son los que presentan un mejor comportamiento en la clasificación de texturas, ya que son los más relacionados con la percepción humana (Howarth P. , 2007). A continuación se explica el funcionamiento de las tres primeras características mencionadas:

- **Coarseness**

Esta característica se relaciona directamente con la tasa de repetición y de escala de las texturas en una imagen, según Tamura es el aspecto más importante a tener en cuenta para la caracterización de éstas (Tamura & Yamawaki, 1978). Por otro lado, el objetivo de medir Coarseness en una imagen es brindar información acerca del tamaño de las texturas que se encuentran presentes. En el caso que la imagen presente varias escalas de texturas, es decir, se pueda identificar un macro patrón o incluso la imagen concentre un conjunto de un micro patrones, el proceso de extracción de características de Tamura considera el patrón de mayor escala, ya que una imagen puede contener texturas de diferentes escalas (Howarth & Ruger, 2005).

El proceso que sigue Tamura para extraer esta información es el siguiente:

1. Asignar a cada pixel el promedio sobre una vecindad definida; la vecindad debe tener un tamaño potencia de dos.
2. Para cada pixel se toman las diferencias entre los pares de promedios, pixeles calculados en el paso 1, de sus vecinos no solapados en los lados opuestos al pixel, en las direcciones horizontal y vertical.
3. Para cada pixel asignar la diferencia más grande.

- **Contraste**

Tiene como objetivo identificar el rango dinámico de niveles de gris que se presenta en una imagen, la polarización de la distribución del blanco y el negro, la definición de los bordes y el periodo de repetición de los patrones. La medida del rango dinámico de niveles de gris de la imagen se realiza calculando la desviación estándar de los niveles que presenta y la en el segundo caso, se calcula la medida empleando la Curtosis⁸, dividiendo el cuarto momento sobre la media por la varianza al cuadrado.

$$F_{con} = \frac{\sigma}{(\alpha_4)^n} \quad \text{con} \quad \alpha_4 = \frac{\mu_4}{\sigma^4} \quad \text{Ecuación 1.}$$

En donde μ_4 es el cuarto momento alrededor de la media μ de la intensidad, Experimentalmente, Tamura encontró $n = 1/4$ para obtener la medida más cercana al sistema usado por los humanos (Tamura & Yamawaki, 1978).

- **Direccionalidad**

⁸ Curtosis: es una medida de la forma o apuntamiento de las distribuciones, tratan de estudiar la mayor o menor concentración de frecuencias alrededor de la media y en la zona central de la distribución

Este es un aspecto importante en las texturas, es considerada como una propiedad global sobre una región de la imagen, en este método no se define como tal la orientación sino que su objetivo es identificar la presencia de la dirección en la imagen. Para ello, se calcula la direccionalidad aplicando las derivadas horizontal y vertical sobre la imagen, esto es, aplicar dos máscaras de convolución para detectar los bordes sobre la imagen I . Las máscaras empleadas son los operadores horizontal y vertical de Prewitt, con estos operadores se consigue estimar la tasa de intensidad sobre cada región de 3×3 de la imagen. En cada pixel se calcula su ángulo y orientación. A partir de estos datos obtenidos se puede construir una imagen y un histograma que contengan información acerca de la orientación local. La información con la que se construye el histograma es la probabilidad de los bordes contando todos los puntos con magnitud mayor que un umbral definido como el ángulo del borde, expresando así el grado de direccionalidad de la imagen.

En estudios preliminares de análisis de texturas en los que se han empleado las características de Tamura anteriormente presentadas para realizar la caracterización de imágenes, se habla también de la imagen de Tamura, construida en el plano RGB a partir de las tres medidas obtenidas por pixel de las características (coarseness, contraste y direccionalidad), esta imagen no contiene información acerca del color pero si de las texturas y con ella se puede construir un histograma de Tamura (Howarth P. , 2007) y (Caicedo Rueda, 2008).

2.3.2.6. Matrices de Coocurrencia

Es un método de extracción de características estadístico de segundo orden que obtiene información relacionada a la textura. A través de las propiedades estadísticas de los niveles de gris se propone una descripción de la textura basada en la distribución de intensidad de la imagen.

La matriz de coocurrencia es considerada como la más importante característica de textura derivada de los métodos estadísticos de segundo orden (Howarth P. , *Discovering images: features, similarities and subspaces*, 2007), se define como una matriz de frecuencias en las que se almacena la cantidad de veces en que un par de pixeles separados por un vector ocurre en una imagen. La distribución que representa la matriz depende directamente del ángulo y distancia que hay entre el par de pixeles que se analiza. Con el cambio de estos parámetros se consigue capturar diferente información de las características de la textura. Una vez se obtenga la matriz de coocurrencias se pueden calcular características a partir de esta, las cuales son clasificadas como características visuales de textura, estadísticas, de teoría de la información y medidas de correlación de información.

2.3.2.7. Características de Gabor

A través de un famoso método de procesamiento de señales enfocado a la extracción de características de textura, se propone usar los filtros de Gabor para modelar el comportamiento del sistema visual humano (Howarth, Yavlinsky, Heesch, & Ruger). Existen diferentes maneras de implementación de este método de extracción de

características. Por lo general, se emplea un rango de filtros de Gabor para analizar la imagen y extraer la información que permita descomponerla en características de textura. El rango de filtros que se le aplica a la imagen está compuesto por filtros que tienen diferentes escalas y orientaciones que son usadas para realizar un filtrado multicanal de la imagen, y posteriormente dependiendo de la estrategia de implementación del método, evaluar el comportamiento de cada uno de los filtros y seleccionar el filtro que presente el mejor comportamiento respecto a la extracción de información de frecuencia y orientación.

2.3.2.8. Wavelets

Este método es uno de los más populares de procesamiento de señales aplicado a la extracción de características y ha sido usado en un gran número de aplicaciones, permite el análisis de textura y basa la extracción de características en los coeficientes de la Transformada Discreta de Wavelets. El método consiste en descomponer la imagen utilizando alguna de las diferentes funciones de Wavelets para obtener el conjunto de coeficientes con los que se logre la representación de la imagen.

Es un método de filtrado espacial y frecuencial, usualmente se usa un filtro espejo en cuadratura (del inglés Quadrature mirror filter, QMF) para dividir una señal de entrada en dos bandas que son recursivamente divididas. La imagen es filtrada por las sub-bandas en cada nivel de descomposición y el vector de características se construye a partir de la media y la varianza de la distribución de energía de cada imagen transformada.

2.3.2.9. Dominio Espacial de Filtrado

En general es un método muy sencillo de procesamiento de señales que permite obtener información acerca de los bordes que se puedan identificar en la imagen, a través de máscaras de detección de bordes, por ejemplo los operadores de Roberts o Laplacianos. EL resultado de aplicar las máscaras de detección de bordes sobre la imagen original es una imagen transformada en donde la respuesta sobre un área indica su "edgeness" encontrado.

2.4. FUNCIONES DE SIMILARIDAD

La similaridad de las imágenes en el sistema evaluado por los seres humanos está basada en la interpretación que estos hagan sobre la imagen y su contexto, mientras que en CBIR se basa en la comparación que se haga entre las características extraídas de la imagen consulta, que representan su contenido, y el mismo espacio de características de las imágenes de la base de datos, obteniendo como salida un conjunto de imágenes ordenadas según sea el grado de similaridad respecto a la imagen consulta (Howarth P. , 2007).

La estrategia en CBIR con la que se consigue medir la similaridad, se realiza a través de la implementación de métricas o funciones que permitan calcular la distancia entre un par de imágenes, estas funciones se aplican entre la imagen consulta y todas las imágenes

de la base de datos. El éxito de recuperación de un CBIR también depende de la función o métrica elegida para la comparación, ya que es directamente ésta la que determina el orden en el que se organizan las imágenes devueltas en una consulta a un CBIR.

Una estrategia en la recuperación de un CBIR, es definir una buena combinación entre el conjunto de características elegidas para representar el contenido de las imágenes y la función o métrica de similitud que calcule la distancia entre las imágenes, con el objetivo de eliminar o reducir al máximo el claro vacío que existe entre la evaluación realizada por la percepción humana y la función de similitud implementada. Ya que las funciones de similitud que se implementan se hacen basándose en interpretaciones geométricas que a menudo no tienen relación con la similitud percibida por los seres humanos.

Las características que son extraídas de las imágenes para representar su contenido, pueden ser consideradas como variables continuas y de esta manera emplear medidas de similitud definidas para este tipo de variables. Estas medidas están divididas principalmente en 3 grupos: Distancia Minkowski o norma L_p , distancias basadas en formas cuadráticas y la distancia Camberra (Acuna, 2002). El primer grupo de métricas de similitud mencionado se destaca por agrupar las medidas de distancia más populares, algunos de los casos particulares de este grupo son los siguientes:

- Distancia Euclideana:

Considera que la distancia más corta entre dos puntos es la recta que los une y matemáticamente está definida de la siguiente manera.

$$D_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^M (x_i - y_i)^2} \quad \text{Ecuación 2.}$$

- Distancia Manhattan o City-Block

Inspirada en la manera como hay que desplazarse en la ciudad, a través de calles (bloques), considera que la distancia entre dos puntos no es la recta que los une, sino el mínimo número de calles que se deben recorrer.

$$D_1 = \sum_{i=1}^M |x_i - y_i| \quad \text{Ecuación 3.}$$

- Distancia Chebychev

También es conocida como distancia de tablero de ajedrez, define la distancia que hay entre dos puntos como el número de movimientos que el rey debe hacer para llegar de una casilla a otra en un tablero de ajedrez.

$$D_\infty = \max_{1 \leq i \leq M} |x_i - y_i| \quad \text{Ecuación 4.}$$

- Distancia Ponderada de Minkowski

La ecuación que agrupa las métricas de la norma L_p o distancia de Minkowski es:

$$D_p(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \left(\sum_{i=1}^M (x_i - y_i)^p \right)^{1/p} \quad \text{Ecuación 5.}$$

Sus casos particulares se generan al cambiar el valor de p en la ecuación. Sin embargo, a partir de esa ecuación puede surgir una nueva familia de ecuaciones, si se adiciona a la ecuación general un vector de índices ponderales, que permita considerar que las diferentes dimensiones del vector de características pueden tener mayor o menor relevancia. Por lo general el vector de índices ponderables esta normalizado y contiene valores que pertenezcan a $[0,1]$ (León Rojas, 2003).

$$D_p(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \left(\sum_{i=1}^M w_i (x_i - y_i)^p \right)^{1/p} \quad \text{Ecuación 6.}$$

Dando como resultado la familia de ecuaciones ponderadas de Minkowski que se generan variando el valor de p .

2.5. ARQUITECTURAS DE SISTEMAS CBIR Y DESARROLLO DE SOFTWARE.

A continuación se mencionan los diferentes enfoques arquitectónicos de sistemas CBIR y de desarrollo de software estudiados, se describen sus principales características y ventajas, las cuales serán consideradas en la definición de la arquitectura del prototipo en el capítulo 4 de acuerdo a las necesidades de diseño que se definan.

2.5.1. Arquitecturas de sistemas CBIR

En trabajos preliminares se han realizado varias propuestas de modelos arquitectónicos que se ajustan a las necesidades de los sistemas CBIR o sistemas que incluyan el manejo de bases de datos de imágenes construidos en sus investigaciones. Algunas de las arquitecturas propuestas se centran en representar principalmente los métodos de obtención de características. Uno de los modelos planteados está orientado a sistemas CBIR que utilizan características de textura, planteando como aspectos principales la colección de las imágenes y el proceso de recuperación de las imágenes, este modelo describe las funcionalidades que permiten consultar por contenido empleando el método "query-by-example", comúnmente usado en éste tipo de sistemas, y caracterizando las imágenes a través de técnicas de extracción de texturas (Huang & Dai, 2003). También se encuentra bajo el enfoque de arquitecturas que se centran en el proceso de obtención de las características de la imagen, modelos que representan los procesos de extracción de características basados en operaciones de píxeles y el reconocimiento de patrones (Antani, R., & R., 2002).

Otros autores proponen arquitecturas que consideran situaciones más complejas como por ejemplo, el caso de los sistemas de recuperación de información multimedia que soportan la integración de bases de datos con información visual, este modelo

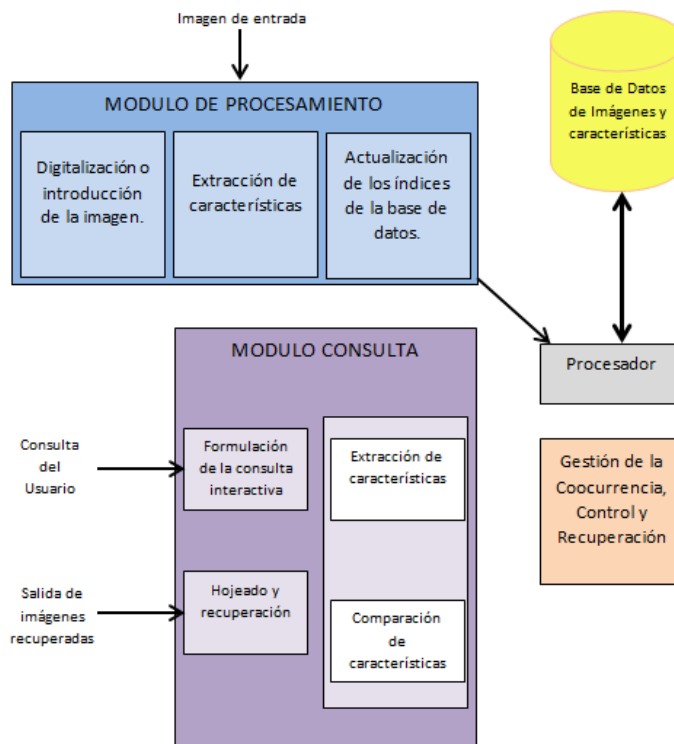
PROTOTIPO DE SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE IMÁGENES MICROSCÓPICAS BASADA EN CONTENIDO VISUAL PARA EL ASESORAMIENTO DEL DIAGNÓSTICO DE CONDILOMA PLANO VIRAL

denominado NetView modela tres componentes principales presentes en este tipo de sistemas: sistema de bases de datos multimedia en sitios remotos, un metaserver para soportar la búsqueda y el conjunto de aplicaciones de visualización en las máquinas del cliente (Chang, Murthy, Zhang, & Syeda-Mahmood, 1998).

Por otro lado, los modelos arquitectónicos propuestos también han sido influenciados por el lenguaje y herramienta de implementación en la que fueron desarrollados los sistemas. En (Caicedo. A, 2008) se propone un arquitectura multi-nivel coherente con el estándar J2EE. Además, de considerar en su diseño la extensibilidad y escalabilidad de sistema

Una de las arquitecturas más populares en los sistemas CBIR ha sido la Arquitectura de Bertino (Bertino, Ooi, Sacks-Davis, Zobel, & Catania, 1997). En esta arquitectura se propone un modelo que refleja los principales módulos que debe tener un sistema CBIR que realizan las consultas mediante ejemplo. Dentro de este modelo, se define que la interacción con la base de datos se realiza integrando varios subsistemas, de los que se pueden escoger los que se implementaran según sean las necesidades del sistema CBIR que se desea construir.

A continuación en la figura 3 se puede observar gráficamente la descripción de la arquitectura.



FUENTE: Tomado del trabajo de (Bertino, Ooi, Sacks-Davis, Zobel, & Catania, 1997)

Figura 3. Arquitectura de Bertino para un Sistema CBIR

Los subsistemas que este modelo considera son:

- Módulo de preprocesamiento

Este módulo se emplea para extraer las características, definidas en el espacio de búsqueda, de las imágenes de la colección, para alimentar la base de datos de características de imágenes sobre la cual consultará el sistema.

- **Módulo de consulta**

Permite al usuario realizar una búsqueda a través de los diferentes métodos de consulta implementados en el sistema, bajo este modelo arquitectónico, se considera que necesariamente en éste módulo se debe realizar una extracción de características, debido a que hay que caracterizar la imagen con la que se dispara la consulta para poderla comparar por contenido con las imágenes de la colección. Por lo anterior, el modelo arquitectónico es considerado orientado a consultas mediante ejemplo o esbozos de la imagen. Una vez se hayan obtenido las características de la imagen consulta, se construye el índice con el que se consultará sobre la base de datos empleando el submódulo de comparación de características; dependiendo del tipo de la implementación del sistema, el submódulo de comparación realiza búsquedas exactas o aproximadas, en el caso en que las búsquedas sean exactas se devolverán solo las imágenes que coincidan totalmente con la imagen de ejemplo y en el caso contrario, se devuelven un conjunto de imágenes ordenadas de mayor a menor grado de similitud definido por alguna métrica de distancia implementada.

- **Módulo de almacenamiento secundario**

Este módulo interactúa con el módulo de preprocesamiento, ya que es el módulo encargado de extraer las características de las imágenes de la colección y a través del módulo de almacenamiento secundario son almacenadas en la base de datos.

- **Módulo de acceso a disco**

A través de este módulo se controla el acceso al disco, es decir las lecturas y escrituras sobre el mismo, y en ocasiones cuando el sistema ofrece gestión de concurrencia, éste es el módulo donde se debe implementar.

2.5.2. Arquitecturas de desarrollo de software

- **Cliente – Servidor**

Los sistemas desarrollados bajo este estilo se dividen en dos aplicaciones, una aplicación cliente y una aplicación servidor como se muestra en la Figura 4. Se define la relación entre las dos aplicaciones en las que la aplicación cliente envía peticiones a la aplicación servidor y la aplicación servidor envía respuestas. Este tipo de arquitecturas ofrecen mayor seguridad, acceso centralizado de los datos y una facilidad de mantenimiento (de la Torre Llorente, Zorrilla Castro, Ramos Barroso, & Calvarro Nelson, 2012).

PROTOTIPO DE SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE IMÁGENES MICROSCÓPICAS BASADA EN CONTENIDO VISUAL PARA EL ASESORAMIENTO DEL DIAGNÓSTICO DE CONDILOMA PLANO VIRAL

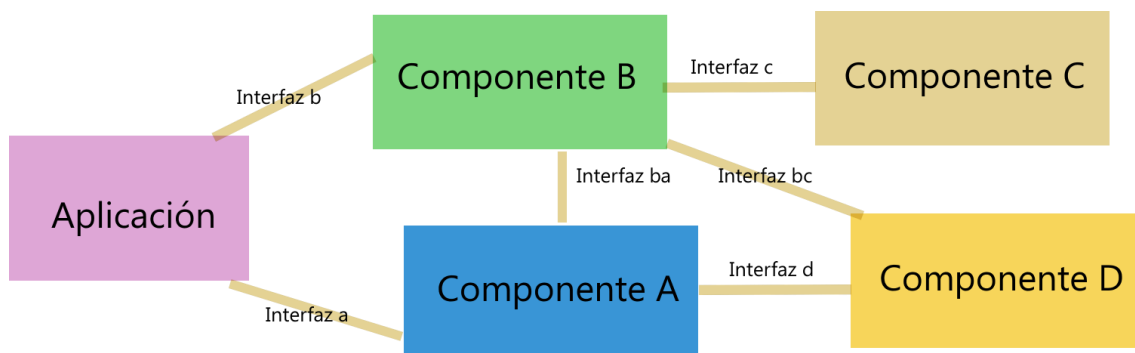


FUENTE: Tomado del trabajo de (de la Torre Llorente, Zorrilla Castro, Ramos Barroso, & Calvarro Nelson, Guía Arquitectura N-Capas DDD NET.4, 2012)

Figura 4. Arquitectura Cliente-Servidor

- Basado en componentes

Describe el diseño de las aplicaciones como un conjunto de componentes que exponen funcionalidades encapsulando los detalles internos del proceso a través de interfaces bien definidas y los cuales interactúan y se colaboran entre sí para llevar a cabo una función, ver Figura 5. La construcción de las aplicaciones se basa en el diseño de componentes individuales que puedan ser reutilizados y sustituidos fácilmente sin afectar el resto de la aplicación, en el caso de contar con una nueva versión (de la Torre Llorente, Zorrilla Castro, Ramos Barroso, & Calvarro Nelson, 2012).



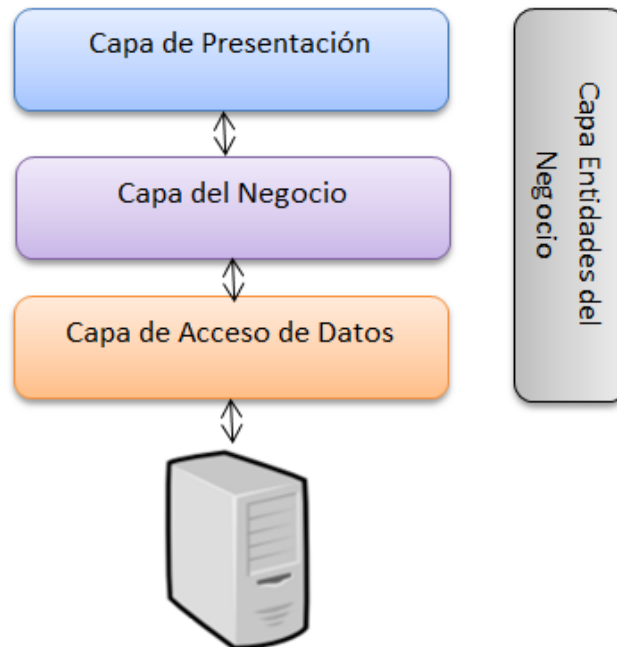
FUENTE: Tomado del trabajo de (de la Torre Llorente, Zorrilla Castro, Ramos Barroso, & Calvarro Nelson, Guía Arquitectura N-Capas DDD NET.4, 2012)

Figura 5. Arquitectura Basada en Componentes

- En Capas (N-Layer)

Está basado en la división jerárquica de responsabilidades y roles. Las responsabilidades están definidas como las funcionalidades que implementan las capas y los roles como el tipo y manera cómo se da la interacción entre capas. Los componentes de las capas se comunican a través de interfaces bien conocidas. Respecto al diseño de las capas, se especifica que cada capa solo implementa las funcionalidades relacionadas con las tareas de esa capa, las capas inferiores no se acoplan a las capas superiores, la comunicación entre las capas se basa en una abstracción que debe garantizar un bajo acoplamiento entre las capas que comunica y

finalmente, cada capa debe agregar responsabilidades y abstracciones de sus capas inferiores (de la Torre Llorente, Zorrilla Castro, Ramos Barroso, & Calvarro Nelson, 2012). Ver Figura 6.



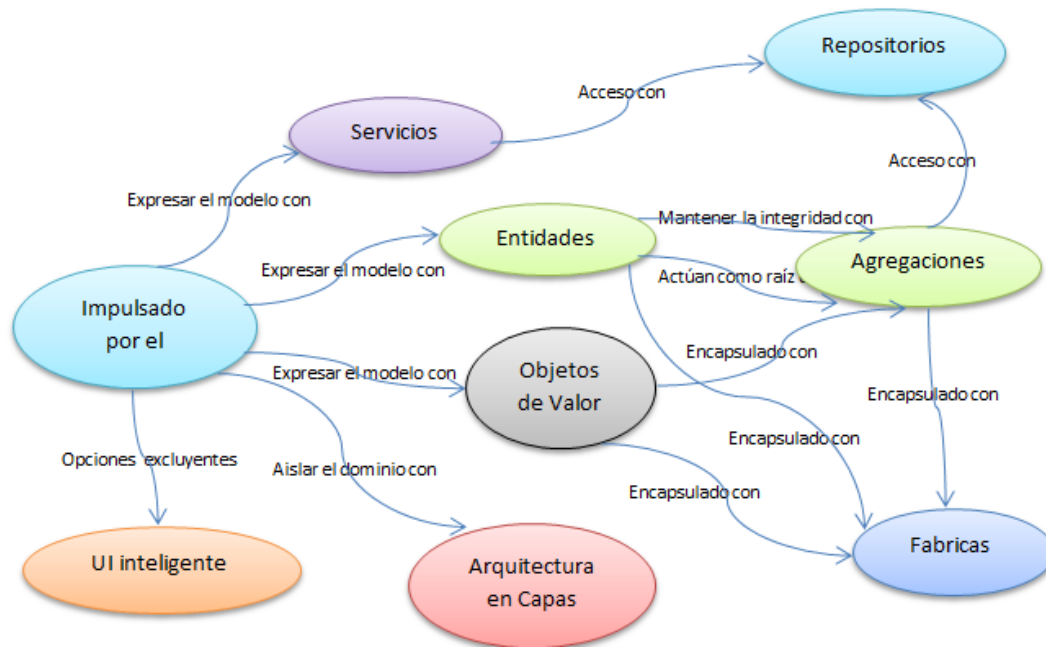
FUENTE: Tomado del trabajo de (de la Torre Llorente, Zorrilla Castro, Ramos Barroso, & Calvarro Nelson, Guía Arquitectura N-Capas DDD NET.4, 2012)

Figura 6. Arquitectura N-Capas (N-Layer)

- **Arquitectura Orientada al Dominio**

En este enfoque arquitectónico el diseño considera de manera especial el dominio del negocio y todos los elementos que se relacionan con este. Es una excelente opción para diseñar aplicaciones complejas, su diseño está basado en el desacoplamiento de todos sus componentes, lo que facilita la extensibilidad y testing del sistema desarrollado. Una de las ventajas de este modelo arquitectónico es que debido al desacoplamiento que hay entre los componentes de las capas, especialmente los componentes relacionados al dominio, se pueden cambiar las reglas del negocio en cualquier momento, sustituyendo los componentes del negocio sin que la aplicación sufra un alto impacto (de la Torre Llorente, Zorrilla Castro, Ramos Barroso, & Calvarro Nelson, 2012). Ver Figura 7.

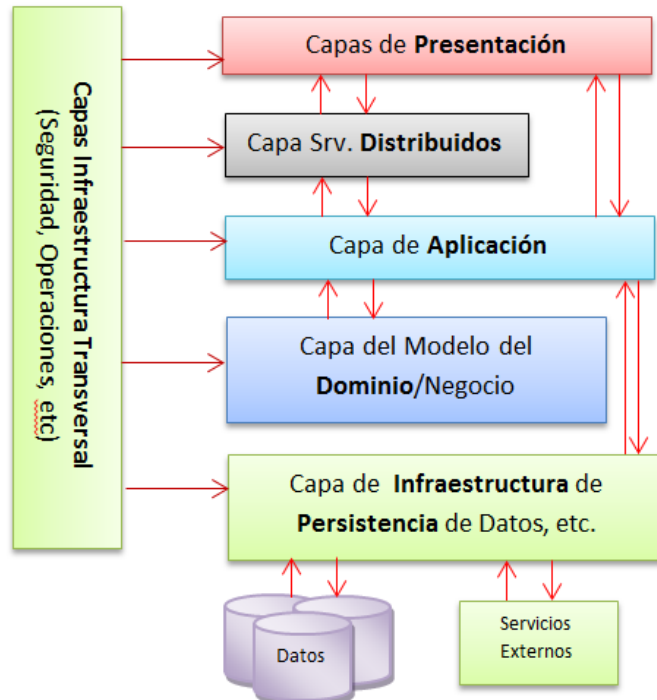
PROTOTIPO DE SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE IMÁGENES MICROSCÓPICAS BASADA EN CONTENIDO VISUAL PARA EL ASESORAMIENTO DEL DIAGNÓSTICO DE CONDILOMA PLANO VIRAL



FUENTE: Tomado del trabajo de (de la Torre Llorente, Zorrilla Castro, Ramos Barroso, & Calvarro Nelson, Guía Arquitectura N-Capas DDD NET.4, 2012)

Figura 7 Arquitectura Orientada al Dominio

- Arquitectura N-Capas con Orientación al Dominio



FUENTE: Tomado del trabajo de (de la Torre Llorente, Zorrilla Castro, Ramos Barroso, & Calvarro Nelson, Guía Arquitectura N-Capas DDD NET.4, 2012)

Figura 8 Arquitectura N-Capas con Orientación al Dominio

PROTOTIPO DE SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE IMÁGENES MICROSCÓPICAS BASADA EN CONTENIDO VISUAL PARA EL ASESORAMIENTO DEL DIAGNÓSTICO DE CONDILOMA PLANO VIRAL

El objetivo de esta arquitectura es estructurar de manera clara la complejidad de aplicaciones aprovechando las ventajas que ofrece una arquitectura N-Capas y las tendencias de arquitecturas orientadas al dominio (de la Torre Llorente, Zorrilla Castro, Ramos Barroso, & Calvarro Nelson, 2012). Ver Figura 8.

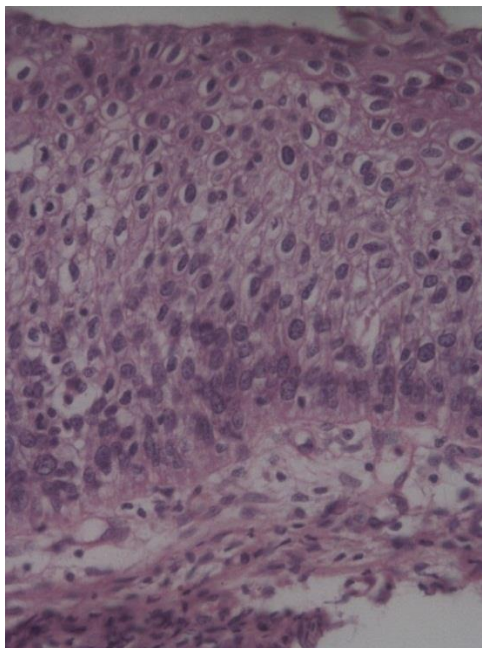
3. SELECCIÓN DE TÉCNICAS DE EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONES DE SIMILARIDAD.

3.1. CARACTERIZACIÓN DE IMÁGENES

Para el diseño y la construcción de un sistema que permita buscar por contenido imágenes digitales se requiere realizar el proceso de caracterización de las imágenes. Según Bertino (Bertino, Ooi, Sacks-Davis, Zobel, & Catania, 1997) se deben identificar y definir un conjunto de características que proporcionen información acerca del contenido de las imágenes y con la cual se logre diferenciar una imagen de otra. La importancia de éste proceso consiste en seleccionar el conjunto de características que represente correctamente el contenido de la imagen, debido a que según el conjunto de imágenes, su origen y contenido se debe construir una caracterización específica.

La base de datos de imágenes que se describió a través de características visuales para soportar la búsqueda por contenido del prototipo de sistema de recuperación de imágenes médicas basada en contenido visual para el asesoramiento de Condiloma Plano Viral, es un conjunto de imágenes obtenidas a partir de la digitalización de biopsias de cuello uterino que contienen información de tejidos en los que se presentan alteraciones producidas por el VPH plasmadas en lesiones conocidas como condiloma plano viral. Las imágenes digitales son obtenidas a partir de la captura fotográfica que se hace sobre una placa de biopsia de cuello uterino visualizada a través de un microscopio óptico a una resolución de 40x como se muestra en la figura 9. La resolución elegida para hacer la captura fotográfica de las biopsias es 40x, debido a que los especialistas encargados de diagnosticar este tipo de imágenes emplean resoluciones menores para ubicarse sobre la placa, pero el análisis de las estructuras celulares presentes en el contenido de la placa para identificar alteraciones es realizado a una resolución de 40x, resolución con la que se obtiene detalle suficiente sobre la imagen y se puede evaluar los criterios que determinan si hay presencia o ausencia de VPH.

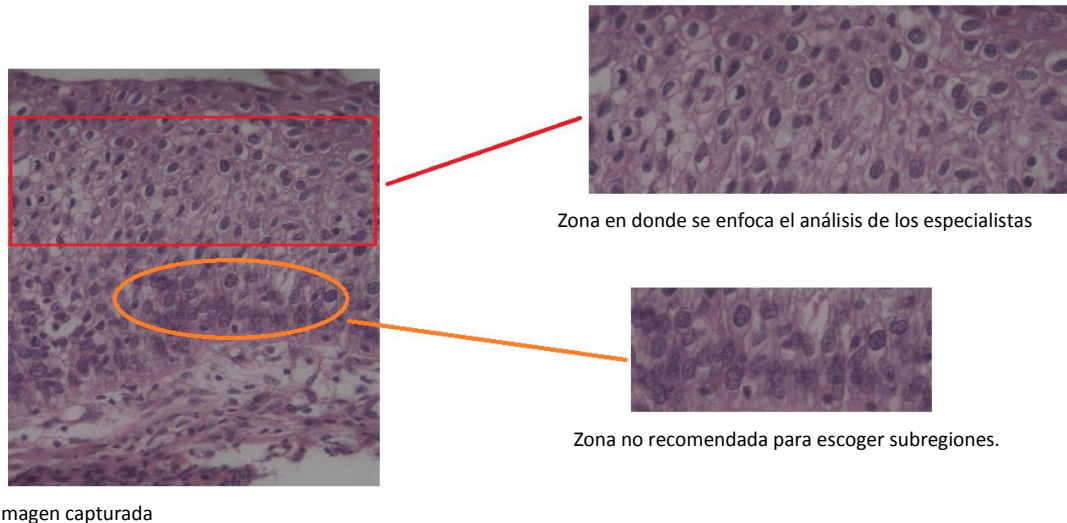
Las biopsias empleadas en la construcción de la base de datos de imágenes pertenecen a la Compañía de Patólogos del Cauca, laboratorio clínico que facilitó el acceso a las placas físicas de las biopsias de cuello uterino y su diagnóstico, las placas de biopsias de Cuello Uterino fueron digitalizadas como parte del trabajo realizado en este proyecto en el Laboratorio de Microscopía de la Universidad del Cauca.



FUENTE: La imagen corresponde a una placa de biopsia de cuello Uterino de la Compañía de Patólogos del Cauca, fue digitalizada en el Laboratorio de Microscopía de la Universidad del Cauca.

Figura 9. Imagen digital de una biopsia de cuello uterino con resolución 40x.

En la figura 9 Se muestra una imagen capturada directamente del microscopio, sin embargo el análisis que realizan los especialistas no tiene en cuenta la imagen completa, el estudio es enfocado sobre las células ubicadas en la zona media o superior del tejido epitelial mostrado, ya que las células encontradas en la base del tejido no han alcanzado el proceso de diferenciación suficiente para lograr distinguir una célula de otra. En la figura 10 se muestra la región de la imagen sobre la cual se pueden elegir subregiones de manera correcta para formular una consulta por imagen al prototipo y esperar una respuesta de acuerdo a la confiabilidad del prototipo. Así mismo, se muestra una región de la imagen perteneciente a la base del tejido epitelial en dónde no se recomienda escoger una subregión para formular la consulta por contenido, debido a que se encuentran células alargadas, superpuestas y otros detalles que son asociados a la diferenciación de las células en esa región.



FUENTE: La imagen corresponde a una placa de biopsia de cuello Uterino de la Compañía de Patólogos del Cauca, fue digitalizada en el Laboratorio de Microscopía de la Universidad del Cauca.

Figura 10. Imagen de biopsia de cuello uterino y regiones de análisis en el diagnóstico.

Teniendo en cuenta el origen de las imágenes de la base de datos y el contenido presente en éstas, y el estudio histopatológico que se realiza sobre las imágenes digitales de biopsias de cuello uterino y la relación que existe entre el análisis de tejidos sobre las imágenes digitales y el análisis de texturas, el proceso de caracterización implementado en este proyecto se basó en la representación de texturas.

En estudios anteriores se han empleado algunas técnicas de extracción de características para la descripción de imágenes médicas que presenten texturas en su contenido. En la implementación de algunos sistemas CBIR con bases de datos de imágenes médicas alimentadas a partir de tomografías, radiografías, resonancias, ecografías y análisis histopatológicos, entre otros, se ha usado ampliamente extractores de características asociados a la representación de textura, como lo son las transformadas de imágenes, el cálculo de la matriz de coocurrencia, las características de Tamura y el filtrado espacial de imágenes con el objetivo de identificar y resaltar información que permita diferenciar de manera correcta las texturas. En (Howarth P. , 2007) se emplearon las transformadas discretas del coseno, Wavelet y Fourier junto al cálculo de histogramas, el cálculo de la matriz de coocurrencia y las características de Tamura para construir la representación visual de un conjunto de imágenes producto de tomografías resonancias y radiografías. Las características de Tamura y el cálculo de la matriz de coocurrencia también fueron empleadas en (P, Tong, Choy, & Zhang, 2006) y (Busch A. , 2004) para la representación de texturas. El análisis histopatológico está basado principalmente en el análisis de los detalles encontrados en los tejidos, por lo que en (Caicedo, Romero, & González., 2007) para la caracterización de una base de datos de imágenes construida a partir de la digitalización de biopsias en las que se estudian tejidos con presencia de cáncer de piel se emplearon las características de Tamura para la construcción de su representación y en (Muller, 2004) Para un conjunto de imágenes digitales de resonancias y radiografías se empleó el cálculo de la matriz de

coocurrencia y la transformada discreta de Wavelet para describir parte del contenido de la imagen.

Teniendo en cuenta los antecedentes presentados, para la caracterización del conjunto de imágenes digitales de cuello uterino que conforman la base de datos del prototipo software, se han seleccionado los siguientes extractores y filtros con los que se obtendrá un vector de características que describe por contenido visual a cada imagen:

3.1.1. Texturas de Tamura

Definen 6 propiedades que influyen considerablemente la forma en que la visión humana diferencia o reconoce texturas. Tamura diseña sus características como la medida de cada uno de estos aspectos y según su experimento Coarseness, Contraste y Direccionalidad son las características que presentan un mejor comportamiento en la descripción de texturas, ya que son los que presentan un mayor nivel de relación con la percepción humana (Howarth P. , 2007). A continuación se explica la implementación de las tres características mencionadas:

3.1.1.1. Coarseness

El objetivo de medir Coarseness en las imágenes digitales de cuello uterino es capturar información relacionada al tamaño de las texturas presentes en la biopsia. A continuación se describe el algoritmo implementado en el prototipo y los ajustes realizados, en donde I es la imagen y k el tamaño de la vecindad.

para $i = 0$ hasta $\text{numero de filas } (I) - 1$

para $j = 0$ hasta $\text{numero de columnas } (I) - 1$

$I(i, j) = \text{calcularPromedio}(\text{vecindad}(I(i, j), k))$

$\text{dif}H = \text{diferenciaVecinosNoSolapados}H(I(i, j), k)$

$\text{dif}V = \text{diferenciaVecinosNoSolapados}V(I(i, j), k)$

$I(i, j) = \text{asignarMayor}(\text{dif}H, \text{dif}V)$

fin_para

fin_para

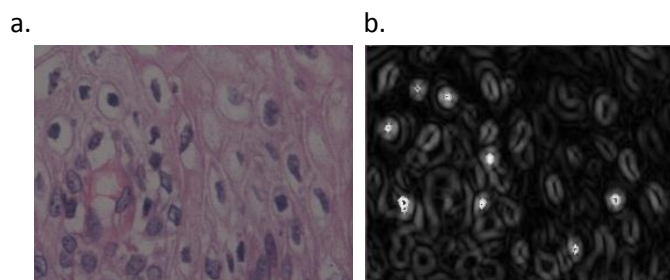
Normalizar (I)

Durante el desarrollo de este proyecto se obtuvo que las vecindades de tamaño 2 y 4 empleadas en el algoritmo, se comportan de mejor forma en la identificación de los patrones de textura presentes en las imágenes de evaluación que se probaron, además computacionalmente incrementar el tamaño de la vecindad significa aumentar la complejidad computacional del algoritmo y así mismo los tiempos de respuesta. Lo anterior debido a que el recorrido de una imagen con información en un solo canal, tiene una complejidad computacional de $n \times m$, siendo n y m el número de filas y columnas respectivamente, si n y m son valores cercanos hablamos de una complejidad computacional de n^2 , y si se analiza por cada pixel de la imagen una vecindad de un tamaño muy grande cercano a $\frac{n}{2}$, es decir, analizar en todas las direcciones los pixeles

que están a una distancia de $\frac{n}{2}$, encontramos que el análisis por cada pixel requiere un recorrido de una región de tamaño $n \times n$, por lo que la complejidad computacional de todo el algoritmo estaría dado por el recorrido de la imagen n^2 por el análisis de la vecindad en cada pixel dado por n^2 , obteniendo una complejidad computacional aproximada de n^4 .

Finalmente, se tuvo en cuenta un cuarto paso para obtener una nueva imagen con los valores de sus pixeles distribuidos entre 0 y 255 y de esta manera lograr aplicar la Transformada Discreta de Wavelets y hacer el cálculo de la matriz de coocurrencia.

A continuación en la figura 11 se ilustra el resultado de medir el coarseness de una imagen microscópica de cuello uterino, en la que se resalta los tamaños de los patrones de textura encontrados en las diferentes regiones de la imagen.



FUENTE: La imagen a corresponde a una placa de biopsia de cuello Uterino de la Compañía de Patólogos del Cauca, fue digitalizada en el Laboratorio de Microscopía de la Universidad del Cauca. La imagen b es una imagen modificada.

Figura 11. a) Imagen original, b) Imagen de Coarseness

3.1.1.2. Contraste

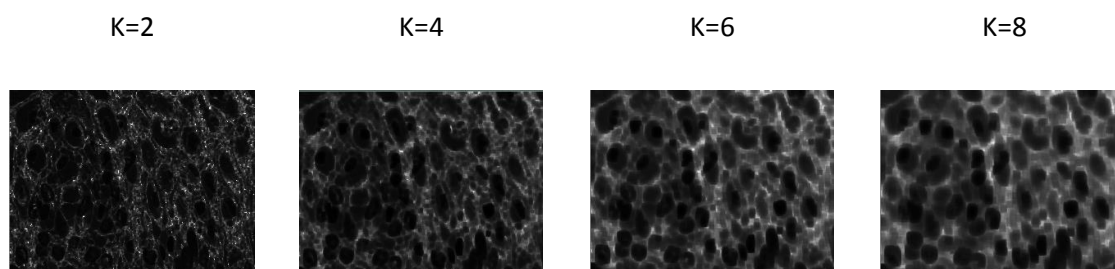
Según los experimentos realizados por Tamura para la percepción humana en la diferenciación de texturas, es fundamental identificar y medir el rango dinámico de niveles de gris que se presenta en una imagen y la polarización de la distribución del blanco y el negro, por lo que el algoritmo que calcula el Contraste de Tamura fue implementado y ajustados sus parámetros para el funcionamiento con las imágenes de la base de datos del prototipo.

El algoritmo que describe el cálculo del contraste es el siguiente:

```

para i = 0 hasta numerodefilas (I) - 1
    para j = 0 hasta numerodecolumnas (I) - 1
         $\mu_4 = \text{calcular4to momento}(\text{vecindad}(I(i, j), k))$ 
         $\alpha_4 = \mu_4 / \text{varianza}^2$ 
         $F_{con} = \text{raizcuadrada}(\text{varianza}) / (\alpha_4)^{\frac{1}{4}}$ 
         $I(i, j) = F_{con}$ 
    fin_para
fin_para
Normalizar (I)
    
```

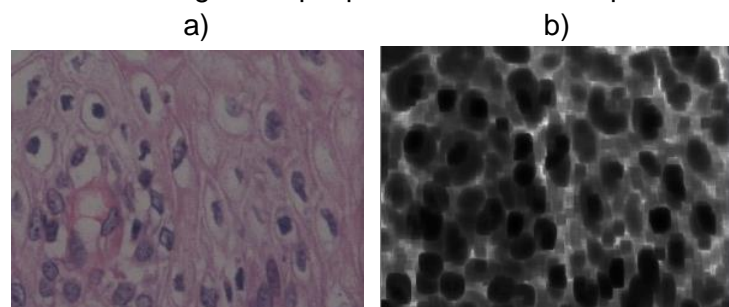
Se evaluaron diferentes tamaños de vecindades y se encontró que a medida que las vecindades aumentan su tamaño no solo se incrementa la complejidad computacional sino que se identifican patrones de texturas más grandes como se puede observar en la figura 12. Lo anterior implica que se puedan identificar como patrones de textura a nivel del núcleo y el citoplasma de una célula o por el contrario que la célula completa sea considerada como una región homogénea en donde se destaca un macro patrón de textura.



FUENTE: Las imágenes son resultado de las tareas de procesamiento digital de imágenes aplicado a una región de biopsia de Cuello Uterino.

Figura 12. Imagen de contraste evaluada para diferentes vecindades de tamaño k.

El resultado de medir Contraste en una imagen microscópica de cuello uterino se observa en la figura 13, en donde midiendo el rango dinámico de niveles de gris y la polarización de la distribución del blanco y el negro se identifican diferentes patrones de texturas homogéneas relacionadas a regiones que presentan el mismo patrón de textura.



FUENTE: La imagen a corresponde a una placa de biopsia de cuello Uterino de la Compañía de Patólogos del Cauca, fue digitalizada en el Laboratorio de Microscopía de la Universidad del Cauca. La imagen b es una imagen modificada.

Figura 13. a) Imagen original, b) Imagen del Contraste.

3.1.1.3. Direccionalidad

Teniendo en cuenta que identificar la dirección en una textura contenida en una imagen es un factor importante para la percepción visual de los humanos, y que en el análisis histopatológico que realizan los especialistas sobre las imágenes digitales de los tejidos de cuello uterino, la direccionalidad identificada permite describir patrones morfológicos que son claves para el diagnóstico de éste tipo de imágenes, también se implementó ésta característica de Tamura en el prototipo.

El algoritmo que describe el cálculo de la direccionalidad es el siguiente:

para $i = 0$ hasta *numero de filas* $(I) - 1$
para $j = 0$ hasta *numero de columnas* $(I) - 1$

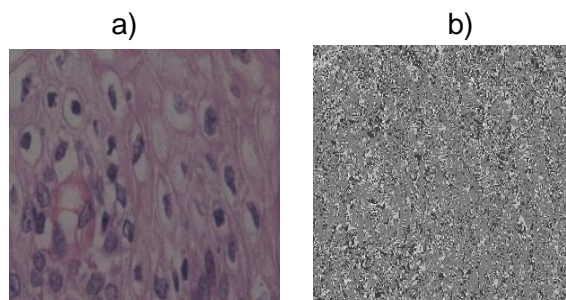
$$ah = derivadaH(I(i,j))$$
$$av = derivadaV(I(i,j))$$
$$I(i,j) = (3.1416/2) + atan(av/ah)$$

fin_para

fin_para

Normalizar (I)

Al finalizar el algoritmo de cálculo de direccionalidad de Tamura se normaliza la imagen para poder visualizar los niveles de gris entre 0 y 255 y el resultado de medir la direccionalidad en una imagen microscópica de cuello uterino se observa en la figura 14, en la que se pueden observar los cambios de dirección presentados en las texturas contenidas en la imagen.



FUENTE: La imagen a corresponde a una placa de biopsia de cuello Uterino de la Compañía de Patólogos del Cauca, fue digitalizada en el Laboratorio de Microscopía de la Universidad del Cauca. La imagen b es una imagen modificada.

Figura 14.) Imagen original, b) Imagen de la direccionalidad.

En anteriores proyectos se han empleado las tres imágenes generadas a partir del cálculo de las características de Tamura: Coarseness, Contraste y Direccionalidad, para la construcción de una nueva imagen con información en los tres canales del sistema RGB, esta imagen es conocida como la imagen de Tamura y es fuente de información para generar un histograma de niveles de grises, el cual no describe información de color como es habitual sino que describe información relacionada a la variación de los niveles de gris presentes en una textura. Sin embargo, en este proyecto no se empleó ese tipo de caracterización, el cálculo de Coarseness, Contraste y Direccionalidad fue empleado como técnicas para resaltar información relacionada al análisis de texturas que realiza el sistema de visión humano y sobre estas imágenes se aplicaron las técnicas de extracción de características con el fin de obtener una descripción del contenido de la imagen a partir de información relevante para la discriminación de texturas.

3.1.2. Dominio Espacial de Filtrado

Los métodos de filtrado espacial se tuvieron en cuenta para resaltar la información relacionada a los bordes y eliminar información asociada al ruido que pueda estar contenido en la imagen, con el objetivo de destacar las estructuras celulares y patrones morfológicos relevantes para el diagnósticos de imágenes digitales de biopsias de cuello uterino.

3.1.2.1. Filtro de Sobel.

El Filtro calcula una aproximación al gradiente de la intensidad de la imagen en cada pixel, se emplean dos kernels para calcular las aproximaciones de las derivadas en las direcciones verticales y horizontales.

$$Kx = \begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{vmatrix} \quad Ky = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -2 & -2 & -1 \end{vmatrix} \quad \text{Ecuación 7.}$$

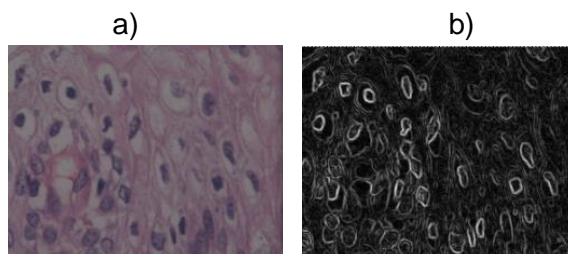
El gradiente en cada pixel se define como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las derivadas en Y y X (Caicedo Rueda, 2008).

El algoritmo que describe el filtro de Sobel es el siguiente:

```

para i = 0 hasta numerodefilas (I) - 1
  para j = 0 hasta numerodecolumnas (I) - 1
    ah = derivadaH(I(i,j))
    av = derivadaV(I(i,j))
    I(i,j) = raizCuadrada( ah2 + av2)
  fin_para
fin_para
    
```

El resultado de aplicar el Filtro de Sobel se muestra en la figura 15, en esta imagen se resaltan principalmente los bordes asociados a los núcleos de las células.



FUENTE: La imagen a corresponde a una placa de biopsia de cuello Uterino de la Compañía de Patólogos del Cauca, fue digitalizada en el Laboratorio de Microscopía de la Universidad del Cauca. La imagen b es una imagen modificada.

Figura 15. a) imagen original, b) imagen filtrada.

3.1.2.2. Filtro de Laplace

Este filtro representa la segunda derivada en un punto o pixel, a partir del operador laplaciano se aproxima y se obtiene el siguiente kernel con el cual se convoluciona y se obtiene el nuevo valor del pixel:

$$\begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{vmatrix} \quad \text{Ecuación 8.}$$

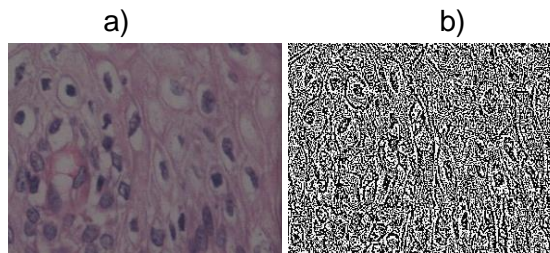
El algoritmo que describe el filtro de Laplace es el siguiente:

```

para i = 0 hasta numerodefilas (I) - 1
    
```

para $j = 0$ hasta $\text{numero de columnas}(I) - 1$
 $I(i, j) = \text{convolucion Laplace}(I(i, j))$
fin_para
fin_para

El resultado de aplicar el Filtro de Laplace se muestra en la figura 16, en donde se resaltan los bordes de todas las estructuras celulares de la imagen, sin embargo los bordes que se pueden observar con mayor claridad corresponden a los asociados con las membranas y núcleos de las células.



FUENTE: La imagen a corresponde a una placa de biopsia de cuello Uterino de la Compañía de Patólogos del Cauca, fue digitalizada en el Laboratorio de Microscopía de la Universidad del Cauca. La imagen b es una imagen modificada.

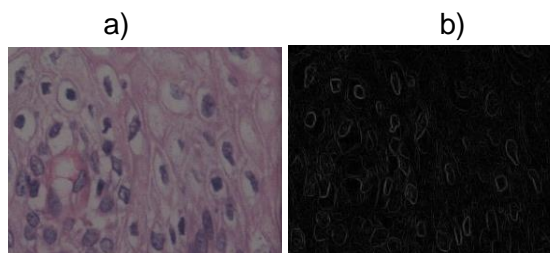
Figura 16. a) imagen original, b) imagen filtrada.

3.1.2.3. Filtro de Roberts

Emplea la diferenciación como método para calcular el grado de separación entre niveles de grises vecinos. Concretamente, y para realizar una diferenciación bidimensional, el valor de cada pixel de la imagen se calcula de la siguiente manera:

$$I(x, y) = |f(x, y) - f(x + 1, y + 1)| + |f(x, y + 1) - f(x + 1, y)| \quad \text{Ecuación 9.}$$

El resultado de aplicar el Filtro de Roberts se muestra en la figura 17, en esta imagen se resaltan principalmente los bordes asociados a los núcleos de las células y se eliminan considerablemente los bordes relacionados a estructuras pertenecientes a regiones homogéneas más pequeñas.



FUENTE: La imagen a corresponde a una placa de biopsia de cuello Uterino de la Compañía de Patólogos del Cauca, fue digitalizada en el Laboratorio de Microscopía de la Universidad del Cauca. La imagen b es una imagen modificada.

Figura 17. a) imagen original, b) imagen filtrada.

3.2. MATRICES DE COOCURRENCIA

Es un método de extracción de características estadístico de segundo orden que obtiene información relacionada a la textura. A través de las propiedades estadísticas de los

niveles de gris se propone una descripción de la textura basada en la distribución de intensidad de la imagen.

La matriz de coocurrencia es considerada como la más importante característica de textura derivada de los métodos estadísticos de segundo orden (Howarth P. , 2007), se define como una matriz de frecuencias en las que se almacena la cantidad de veces en que un par de pixeles separados por un vector ocurre en una imagen (Figura 18). La distribución que representa la matriz depende directamente del ángulo y distancia que hay entre el par de pixeles que se analiza. Con el cambio de estos parámetros se consigue capturar diferente información de las características de la textura. Una vez se obtenga la matriz de coocurrencias se pueden calcular características a partir de esta, las cuales son clasificadas como características visuales de textura, estadísticas, de teoría de la información y medidas de correlación de información. Las principales medidas que se pueden obtener a partir de la matriz de coocurrencia son la Entropía, Energía, Contraste, Homogeneidad y Correlación (Presutti, 2004).

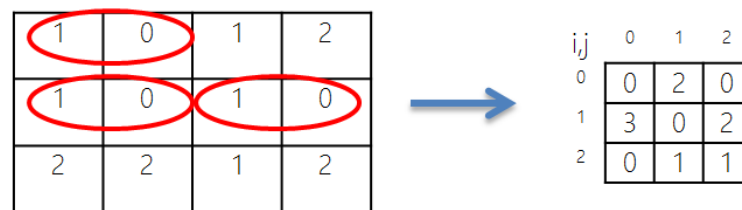


Figura 18. Matriz de coocurrencia para una distancia de 1 pixel y un ángulo de 0°.

A diferencia del cálculo de la matriz de coocurrencia tradicional, en este proyecto se implementó el cálculo de una matriz de coocurrencia con frecuencias invariantes que considera las 4 principales orientaciones 0°, 45°, 90° y 135°, es decir, en una misma matriz se almacenaron todas las frecuencias de color encontradas en las diferentes orientaciones. Adicionalmente, el tamaño de la matriz de coocurrencia está directamente relacionado con el número de niveles de gris soportados en la imagen, por esta razón, si el número de niveles de gris es de 256 entonces el tamaño de la matriz de coocurrencia es de 256x256, resultando computacionalmente algo muy costoso, la solución implementada es reducir el tamaño de la matriz considerando grupos de valores niveles de gris en lugar de valores por separado, por ejemplo, se define el tamaño de la nueva matriz de coocurrencia de 8x8, lo que indica que los 256 niveles de gris existentes se reducen a 8, y se organizan grupos de niveles de gris de 32 (256/8) para determinar la frecuencia de color en la nueva matriz de coocurrencia, los niveles de gris se agrupan de la siguiente manera [0,31], [32,63],..., [224,255] (Mery, 2006).

3.3. TRANSFORMADA DISCRETA DE WAVELETS

Se descomponen las imágenes digitales en coeficientes de la transformada a través de una función de Wavelets y sobre dichos coeficientes se obtiene una representación de la imagen a partir de la media y la varianza de la distribución de energía. Los

coeficientes representan aproximaciones, detalles horizontales, detalles verticales y detalles horizontales de la imagen original (Hong, Kai Choy, & Zhang, 2006).

El proceso que se le aplica a la imagen para obtener sus coeficientes en cada nivel de descomposición es el siguiente (Henao, 2004) :

1. Se le aplica a la imagen original dos filtros, uno pasa altas y otro pasa bajos.
2. Se obtienen dos imágenes y a cada una de ellas se disminuye el número de columnas a la mitad, eliminando las columnas impares o pares de cada imagen.
3. A las dos imágenes filtradas y reducidas del punto a anterior, se les aplica a cada una un filtro pasa altas y otro pasa bajos.
4. Se obtienen 4 imágenes a las que se les reduce el número de filas a la mitad, eliminando las filas pares o impares.
5. Las cuatro imágenes obtenidas finalmente representan los coeficientes mencionados

Los filtros seleccionados para separar las frecuencias altas y bajas de las imágenes en el algoritmo son los siguientes:

$$L = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad H = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación 10.}$$

A continuación se explica gráficamente el efecto de la transformada discreta de Wavelet (Crovetto, Palomino, & Cortijo, 2010)

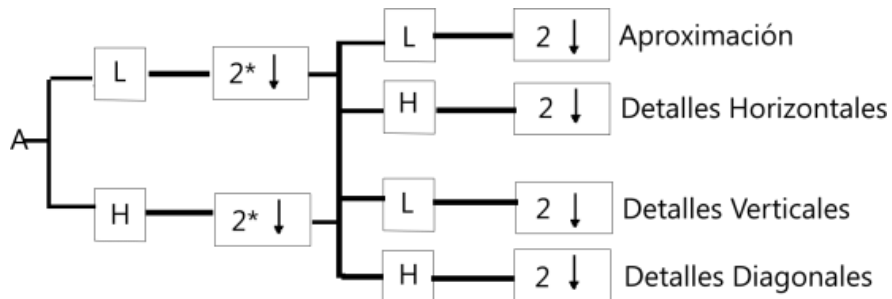


Figura 19. Banco de Filtros de descomposición wavelet de la imagen.

En la figura 20 Se muestra la transformada discreta de Wavelet aplicada a la imagen filtrada de Sobel en dos niveles de descomposición, en el primer nivel de descomposición se obtienen los 4 coeficientes o imágenes: aproximación y las 3 imágenes resultantes con los detalles horizontales, verticales y diagonales de la imagen, el segundo nivel de descomposición se repite el proceso con la imagen aproximación calculada en el nivel anterior.

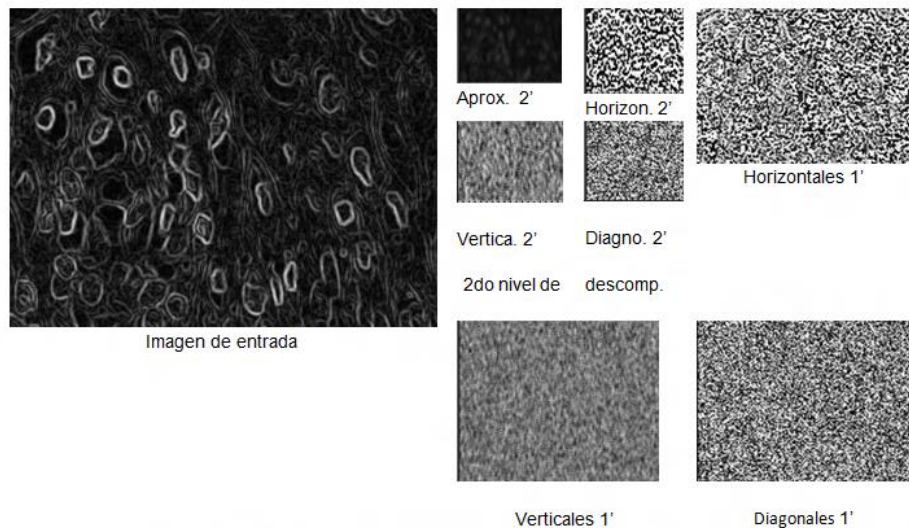


Figura 20. Transformada de Wavelet sobre la imagen filtrada con Sobel con dos niveles de descomposición.

3.4. FUNCIONES DE SIMILARIDAD

Las funciones de similaridad implementadas en el prototipo están basadas en la norma LP (Acuna, 2002), se han considerado específicamente la Distancia Euclideana, la Distancia Chebyshev y la Distancia de Manhattan.

Para emplear las distancias mencionadas anteriormente en la recuperación de imágenes implementada en el prototipo y posteriormente probar cuál de ellas posee un mejor desempeño en la recuperación por contenido de las imágenes digitales de biopsias de cuello uterino, fue necesario aplicar una normalización sobre los valores de las características de las imágenes almacenadas en la base de datos, es decir, todos los datos de las características que describen en términos visuales las imágenes digitales, fueron transformados empleando una distribución normal que calculó los valores de las características en un rango de 0 a 1. Lo anterior se realizó con el objetivo de dar la misma relevancia a todas las características almacenadas de una imagen, ya que si no se realizaba este proceso de normalización algunas características cuyos valores no eran mayores que 1 estarían en desventaja frente a características cuyos valores oscilaran por encima de 100 por ejemplo.

Las funciones de similaridad fueron implementadas de tal manera que al calcular la similaridad entre dos imágenes digitales el significado en el resultado con un valor cercano a 0 indica que la imagen tiene un alto grado de similaridad mientras que un valor cercano a 1 indica que las imágenes son totalmente diferentes. Según lo anterior, las medidas de similaridad al evaluarse deben ofrecer un valor entre 0 y 1, y considerando que debido a la normalización realizada sobre las características, en donde también los datos se encuentran entre 0 y 1, fue necesario en la implementación de las medidas de distancia emplear las fórmulas que describen su funcionamiento y el resultado obtenido dividirlo por el mayor valor que esta función podría presentar. Debido a que, si tenemos un conjunto de 100 características y vamos a comparar dos imágenes digitales cuyas

características las describen como imágenes sin ningún grado de similaridad, es decir, los valores de las características de una imagen estén definidas como 1 ó 0 y los valores de las características de la otra imagen sean opuestos a este valor, tendríamos lo siguiente para las tres medidas de distancia:

$$D_{Euclidean} = \sqrt{\sum_{i=1}^{100} (1-0)^2} = \sqrt{100} > 1 \quad \text{Ecuación 11.}$$

$$D_{Manhattan} = \sum_{i=1}^{100} |1-0| = 100 > 1 \quad \text{Ecuación 12.}$$

$$D_{Cheveishev} = \max_{1 \leq i \leq 100} |1-0| = 1 \quad \text{Ecuación 13.}$$

Por lo anterior, las distancias implementas Euclidean y Manhattan implementadas en el prototipo fueron las siguientes, Chevishev no fue modificada debido a que no era necesario:

$$D_{Euclidean} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M (x_i - y_i)^2}{M}} \quad \text{Ecuación 14.}$$

$$D_{Manhattan} = \frac{\sum_{i=1}^M |x_i - y_i|}{M} \quad \text{Ecuación 15.}$$

4. PROTOTIPO DE SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE IMÁGENES MICROSCÓPICAS BASADA EN CONTENIDO VISUAL PARA EL ASESORAMIENTO DEL DIAGNÓSTICO DE CONDILOMA PLANO VIRAL.

Siguiendo el cronograma de trabajo del proyecto, una vez se realizó el análisis de las imágenes de cuello uterino y las propiedades visuales en las que se basan los especialistas para tomar un diagnóstico sobre éstas, se realizó el análisis de las principales técnicas de extracción de características y funciones de similaridad que permitieran representar y discriminar dicho contenido y de esta manera se dio paso a la construcción del prototipo a desarrollar en el proyecto, guiando este desarrollo con el Proceso Unificado Ágil (Agile Unified Process), la cual es una metodología de desarrollo de software guiada por los casos de usos, centrada en la arquitectura, iterativa e incremental y enfocada en la gestión de riesgos. Como lenguaje de modelado se empleó UML (Lenguaje Unificado de Modelado).

4.1. DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS.

Para facilitar el acceso de los clientes del prototipo sin importar su plataforma se definió que el prototipo software implementado debe ser una aplicación web en la que se facilite la recuperación y presentación de imágenes microscópicas de cuello uterino basando la búsqueda únicamente en las propiedades visuales de las imágenes. El método de búsqueda que implementará el prototipo es el conocido como consulta por ejemplo, el cual consiste en generar una búsqueda en la base de datos de imágenes microscópicas de cuello uterino a partir de una imagen de ejemplo, y recuperando de la base de datos las imágenes que presenten un mayor grado de similitud respecto a las propiedades visuales.

4.1.1. Requerimientos funcionales.

A continuación se describen los requisitos que se implementaron en el prototipo construido. Para mayor detalle de los requerimientos contemplados, ver el ANEXO A, especificación de requerimientos.

- **Interfaz**

El prototipo debe poder ser accedido a través de un explorador de internet estándar.

- **Búsqueda**

Existen diferentes dispositivos de captura de imágenes digitales que facilitaran la tarea de digitalización de las biopsias de cuello uterino en diferentes formatos, por tal razón esta funcionalidad no será implementada, el prototipo solo permitirá explorar en el equipo del usuario para elegir o indicar la imagen digital de la biopsia a analizar, una vez se haya indicado la imagen de ejemplo a buscar en la base de datos de imágenes de

cuello uterino, el usuario podrá iniciar la búsqueda y el prototipo brindará como respuesta las n imágenes de la base de datos que presenten el mayor grado de similitud a la imagen de ejemplo, considerando para la búsqueda únicamente las propiedades visuales de las imágenes. El número de imágenes que recupere el prototipo en una consulta está dado por el número de imágenes que superen el umbral mínimo de similaridad definido.

- **Presentación de Resultados de la Consulta**

Una vez el usuario haya recuperado de la base de datos las n imágenes más relevantes en la búsqueda, el podrá visualizar los diagnósticos e historias clínicas asociadas a cada una de las imágenes recuperadas en la búsqueda con el objetivo de evaluar estos historiales y generar el nuevo diagnóstico de la imagen de ejemplo.

- **Adición y Eliminación de Casos**

El prototipo permitirá a los usuarios adicionar nuevos casos, es decir, nuevas imágenes de biopsias de cuello uterino junto con el diagnóstico, el tratamiento y la información asociada de la paciente a la cual se le realizó la biopsia. De la misma manera, se pueden eliminar de la base de datos casos que puedan llegar a ser considerados como inútiles.

- **Configuración del sistema**

El prototipo permitirá realizar la configuración inicial del CBIR, es decir, soportará el cargue de las imágenes de la base de datos sobre la cual consulta, así como sus diagnósticos y datos asociados al paciente.

- **Autenticación**

Para acceder al sistema se debe realizar el proceso de autenticación a través del inicio de sesión, identificando el usuario y el rol que le permitirá al usuario acceder a las diferentes funcionalidades ofrecidas por el prototipo.

- **Gestión de Usuarios**

El prototipo debe soportar la creación y eliminación de usuarios por parte del usuario con rol de administrador.

Existen 3 tipos de usuarios: Estudiante, Médico y Administrador, el Estudiante solo podrá realizar consultas y visualizar las imágenes retornadas por la búsqueda junto con sus diagnósticos sin información de pacientes. El Médico podrá realizar las mismas consultas al prototipo, adicionalmente podrá visualizar los datos personales de las pacientes, adicionar nuevos casos a la base de datos y actualizar o eliminar los casos clínicos de la base de datos. Por último, el Administrador tiene acceso a las anteriores funcionalidades y adicionalmente podrá configurar la base de datos de imágenes del prototipo si desea cargar una nueva base de datos.

4.2. ANÁLISIS Y DISEÑO

4.2.1. Definición de actores

Actor ACT-01	Estudiante
Autores	Maritza Mera Gaona
Fuentes	
Descripción	Un usuario <i>Estudiante</i> podrá realizar consultas por contenido y visualizar las imágenes retornadas por la búsqueda junto con sus diagnósticos.
Comentarios	El usuario <i>Estudiante</i> no podrá visualizar la información de los pacientes, esta información solo se mostrará para usuarios con rol de <i>Administrador</i> o <i>Medico</i> .

Tabla 2. Descripción del Actor Estudiante

Actor ACT-02	Médico
Autores	Maritza Mera Gaona
Fuentes	
Descripción	El usuario <i>Médico</i> podrá realizar consultas por contenido y visualizar las imágenes retornadas por la búsqueda junto con sus diagnósticos, sin embargo a diferencia del usuario <i>Estudiante</i> si podrá visualizar los datos personales de las pacientes, adicionar nuevos casos a la base de datos y actualizar o eliminar los casos clínicos de la base de datos.
Comentarios	Ninguno.

Tabla 3. Descripción del Actor Médico

Actor ACT-03	Administrador
Autores	Maritza Mera Gaona
Fuentes	
Descripción	El usuario <i>Administrador</i> podrá configurar los datos de la colección sobre los que consulta el prototipo, gestionar los usuarios del sistema y las demás funcionalidades definidas para los otros usuarios.
Comentarios	Ninguno.

Tabla 4. Descripción del Actor Administrador.

Actor ACT-04	Anónimo
Autores	Maritza Mera Gaona
Fuentes	
Descripción	Un usuario <i>Anónimo</i> podrá realizar consultas por contenido y visualizar las imágenes retornadas por la búsqueda junto con sus diagnósticos.
Comentarios	El usuario <i>Anónimo</i> no podrá visualizar la información de los pacientes, esta información solo se mostrará para usuarios con rol de <i>Administrador</i> o <i>Medico</i> .

Tabla 5. Descripción del Actor Anónimo.

4.2.2. Casos de uso de alto nivel

El comportamiento del prototipo fue modelado de acuerdo a la interacción que se presenta con las entidades externas del sistema, además de organizar y agrupar las funcionalidades que se relacionan según su comportamiento en paquetes como se muestra en el diagrama de casos de uso de la Figura 21. Todo lo relacionado a los casos de uso de alto nivel y expandidos se especifica en el ANEXO D.

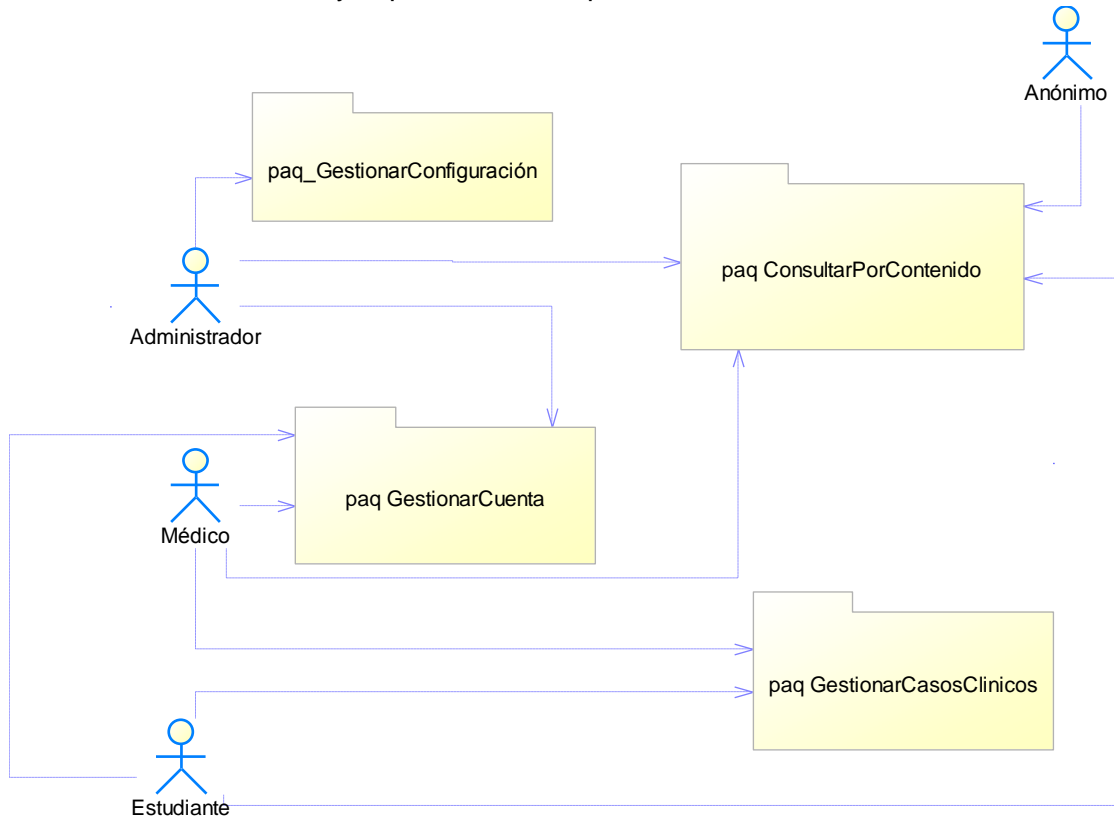


Figura 21. Diagrama de paquetes.

4.2.2.1. Paquete Gestionar Configuración

Este paquete contiene el caso de uso que permite configurar los datos sobre los cuales consultará el prototipo de sistema CBIR, soporta el almacenamiento de la colección de imágenes y sus diagnósticos, la caracterización de las mismas en la base de datos y la integración de estos elementos como casos clínicos. El actor que interactúa con este caso de uso es el actor administrador. En la Figura 22 se muestra dicho paquete.

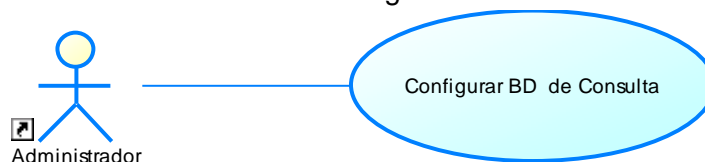


Figura 22. Paquete Gestionar Configuración

4.2.2.2. Paquete Gestionar Cuenta

Agrupar los casos de uso que permiten gestionar las diferentes cuentas de usuario. Las entidades externas que interactúan con estos casos de uso son el actor Administrador que puede crear, actualizar y eliminar cuentas de usuario para acceder a la aplicación y actualizar su propia cuenta; los actores Médico y Estudiante solo podrán actualizar los datos de su cuenta. En la Figura 23 se muestra dicho paquete.

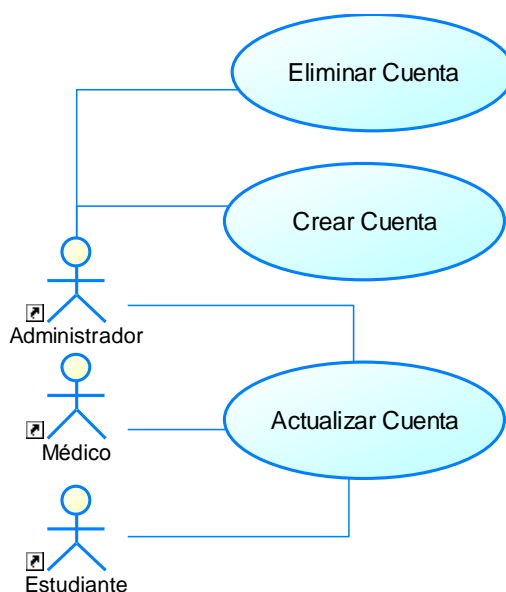


Figura 23. Paquete Gestionar Cuenta

4.2.2.3. Paquete Consultar Por Contenido

Este paquete contiene el caso de uso que soporta la formulación de búsquedas por contenido sobre el prototipo, permitiendo seleccionar una imagen, cargarla al prototipo, recortar de ésta la zona de interés que se desea buscar y con esta región lanzar la

búsqueda por contenido sobre la base de datos de imágenes. Los actores que interactúan con estos casos de uso son el actor administrador, el actor estudiante y el actor docente. En la Figura 24 se muestra dicho paquete.

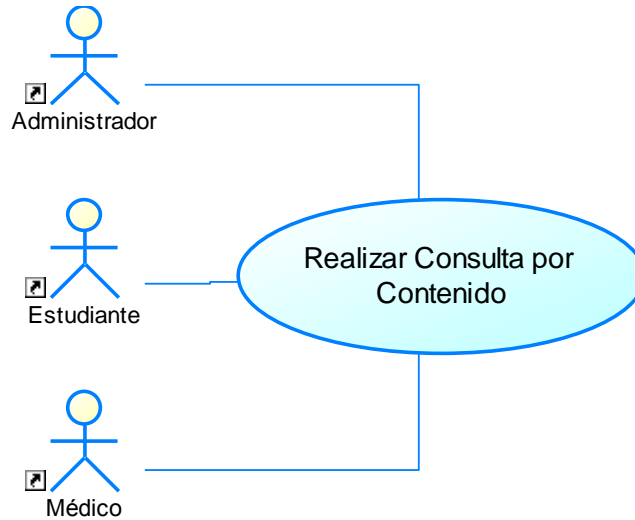


Figura 24. Paquete Consultar Por Contenido

4.2.2.4. Paquete Gestionar Casos Clínicos

Agrupar los casos de uso que permiten mantener los casos clínicos de la base de datos en la que consulta el prototipo, tales como adicionar caso clínico, modificar caso clínico y eliminar caso clínico. Los actores que interactúan con estos casos de uso son el actor Administrador y el actor médico. En la Figura 25 se muestra dicho paquete.

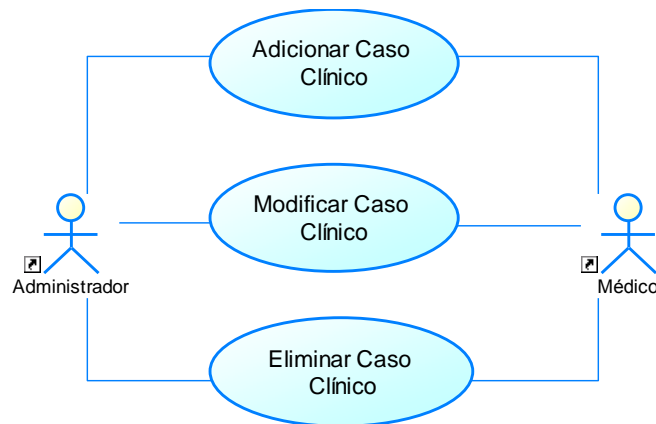


Figura 25. Paquete Gestionar Casos Clínicos

4.2.3. Arquitectura del Sistema

La implementación del prototipo de sistema CBIR planteado en este proyecto implica según los requerimientos la construcción de un motor de búsqueda de imágenes web. Por lo que la definición de la arquitectura se realizó considerando principalmente las

necesidades de los requerimientos funcionales y de despliegue, además de ser la arquitectura uno de los principales factores de la metodología de desarrollo que se está siguiendo.

La arquitectura propuesta para el prototipo está basada en las necesidades de implementación de aplicaciones web y ricas, la extensibilidad, la consideración de diferentes tipos de arquitecturas propias de los sistemas CBIR, la integración con la librería de visión por computador OpenCV y la plataforma de desarrollo seleccionada para la construcción, Visual Studio 2010 (.NET). Una de las grandes ventajas que ofrece la última elección es el acceso a un Framework que facilita y agiliza el desarrollo web, de tal manera que no solo se convierte en una ayuda sino que también incrementa la productividad de desarrollo de los programadores, centrando el esfuerzo del desarrollo en la lógica de la aplicación y pasando la responsabilidad de la implementación de funcionalidades de bajo nivel directamente a la plataforma. Adicionalmente, el motor de bases de datos seleccionado para soportar la persistencia de los datos del prototipo fue Microsoft SQL Server 2008 R2, debido a que está construido sobre la arquitectura del Framework de .NET y al pertenecer a la misma familia de productos software facilita la comunicación con el lenguaje de desarrollo y por tanto la implementación de la aplicación.

Posterior al análisis de los requerimientos, la construcción de los diagramas de casos de uso, la interacción definida entre el sistema y las entidades externas y el análisis de las decisiones de plataformas tecnológicas se continuó con la elaboración de la arquitectura del prototipo que soporta la gestión de la configuración del prototipo, las consultas por contenido, la gestión de casos clínicos y la gestión de cuentas de usuario.

A continuación se expone la guía arquitectónica empleada para la construcción del prototipo a través del conjunto de vistas planteado en el Modelo de vistas 4 + 1 de RUP (Kruchten, 2000). Para la definición del conjunto de vistas se tuvieron en cuenta los aspectos más importantes que ilustran diferentes características del prototipo, descartando así la vista de procesos del modelo seguido, ya que no permite representar características relevantes del prototipo. La descripción detallada del modelo arquitectónico propuesto se puede ver en el ANEXO B.

4.2.3.1. Vista de Casos de Uso

La vista de casos de uso representa la manera como los diferentes tipos de usuarios interactúan con la aplicación. A continuación, se describen los casos de uso o escenarios que expresan las principales funcionalidades del prototipo, haciendo relevancia en aquellos casos de uso relacionados con la lógica principal del prototipo, esto es, los casos de uso relacionados con la recuperación de imágenes basada en contenido.

Para el diseño del prototipo software se consideraron los siguientes casos de uso como los que representan un mayor grado de importancia desde el punto de vista de la arquitectura, la cual enfatiza en el dominio y naturaleza de la aplicación.

- Configuración del Prototipo

Funcionalidad esencial que debe brindar el prototipo software, debido a que a través de esta funcionalidad se configura la base de datos de características de las imágenes sobre la cual consultará el prototipo.

- **Formulación de Consultas por contenido**

Esta funcionalidad es considerada como una de las más importantes de todo el prototipo, debido a que el dominio de la aplicación se centra principalmente en el soporte de consultas por contenido de imágenes microscópicas de cuello uterino.

- **Paquete de Casos de Uso Gestionar Casos Clínicos**

Funcionalidad básica del prototipo que permite adicionar, modificar y/o eliminar registros en la base de datos de imágenes y de esta manera incrementar o disminuir el número de casos clínicos almacenados en la base de datos y sobre los que se realizan consultas de imágenes por contenido.

Los anteriores paquetes implementan funcionalidades que se relacionan entre sí y que representan funcionalidades clave del prototipo, por lo que han sido agrupados y encapsulados como una subcapa dentro de cualquier capa que la contenga.

- **Gestión de Usuarios**

Funcionalidad básica del prototipo que permite controlar el acceso de los usuarios que solicitan acceder a las funcionalidades de la aplicación.

Debido a la lógica del prototipo y la importancia de esta funcionalidad, surge la necesidad de modelarla como una subcapa de abstracción dentro de cualquier capa que la contenga.

4.2.3.2. Vista Lógica

La vista lógica propuesta para el prototipo ilustra los principales aspectos de la arquitectura, basándose en el modelo del diseño para descomponer en unidades lógicas como capas, módulos y paquetes la arquitectura.

4.2.3.3. Integración arquitectónica

La arquitectura planteada permite satisfacer las necesidades de desarrollo del prototipo, principalmente las necesidades que se relacionan a la búsqueda por contenido a través de una aplicación web. Esta arquitectura es el resultado de la integración de aspectos relevantes que se deben tener en cuenta en la construcción de sistemas CBIR, la construcción de aplicaciones web y la plataforma de desarrollo seleccionada para la implementación del prototipo. A continuación se describen los aspectos importantes de las arquitecturas explicadas en el capítulo 2 y que fundamentan la arquitectura definida.

- **Arquitectura de Bertino**

Soporta las principales funcionalidades necesarias en un sistema CBIR orientado a la búsqueda por contenido mediante una imagen de ejemplo, en este enfoque arquitectónico se consideran diferentes módulos, de los cuales se seleccionaron como

relevantes para ser conservados en el modelo arquitectónico definido para la construcción del prototipo los módulos de pre-procesamiento y de consulta, ya que son los módulos que permiten caracterizar y almacenar las imágenes de la base de datos para posteriormente soportar consultas mediante una imagen de ejemplo.

- **Arquitectura N-Capas Orientada al Dominio**

Recomendada para la construcción de software sobre la plataforma de desarrollo .NET, con esta arquitectura se logra la aplicación de un conjunto de patrones importantes en el diseño de software, se soporta la construcción de componentes reutilizables entre los diferentes módulos de la aplicación, se consigue las ventajas de una arquitectura N-Capas y se considera de manera especial la complejidad del dominio de las aplicaciones que se implementan. Esto ayudará a desacoplar el modelo del dominio, que puede sufrir muchos cambios debido a su alta complejidad, de las demás capas del resto del sistema sin causar altos impactos, es decir, gracias a las interfaces bien definidas que aíslan la el dominio de las demás capas se garantiza que un cambio en el dominio no va a requerir que se actualice toda la aplicación para seguir funcionando.

4.2.3.4. Definición de Arquitectura

El desarrollo del prototipo se orientó siguiendo un modelo arquitectónico basado en la integración de las dos arquitecturas mencionadas. La arquitectura N-Capas Orientada al Dominio es recomendada para el desarrollo de aplicaciones sobre la plataforma .NET por parte de los proveedores de la herramienta tecnológica (de la Torre Llorente, Zorrilla Castro, Ramos Barroso, & Calvarro Nelson, 2012) y la cual es empleada para la construcción del prototipo, facilita la construcción de una aplicación web que soporte búsquedas de imágenes por contenido, influenciando la definición del dominio de la aplicación con los principales componentes de la lógica de un sistema CBIR propuestos en la arquitectura de Bertino.

El modelo arquitectónico seleccionado facilita la construcción de componentes reutilizables, la agrupación de funcionalidades que se relacionan, el aislamiento de la lógica del dominio de manera que se pueden construir componentes fáciles de reemplazar, actualizar y probar en las diferentes capas, especialmente en la capa del dominio en donde debido a la complejidad de las funcionalidades asociadas al procesamiento digital de imágenes, extracción de características y evaluación de similitud de las imágenes digitales, se pueden presentar cambios y es necesario garantizar que estos cambios no afecten el resto de la aplicación, con el objetivo de evitar que se generen errores en las capas superiores o inferiores. A continuación, en la Figura 26 se describen las partes de mayor relevancia de la arquitectura del modelo del diseño, detallando sobre las partes importantes sus estructuras.

PROTOTIPO DE SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE IMÁGENES MICROSCÓPICAS BASADA EN CONTENIDO VISUAL PARA EL ASESORAMIENTO DEL DIAGNÓSTICO DE CONDILOMA PLANO VIRAL

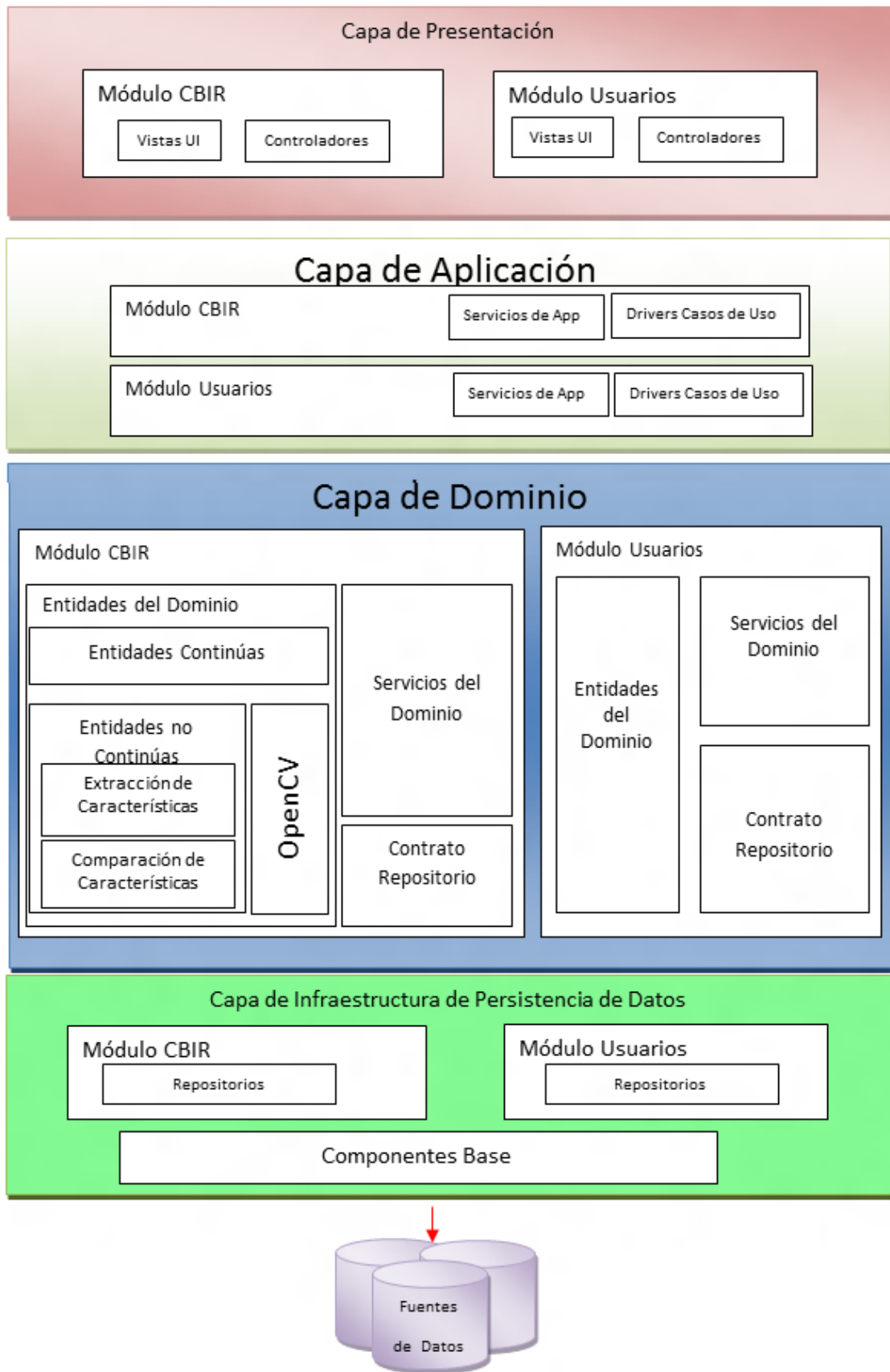


Figura 26. Arquitectura del Prototipo.

En la integración arquitectónica realizada se destacan el diseño sobre la capa del dominio de las tareas de procesamiento digital de imágenes, extracción de características y recuperación del prototipo. Para mayor detalle revisar el ANEXO B.

- **Capa de Dominio**

Partiendo del principio que define al Dominio como el corazón del software, esta capa permite modelar y representar conceptos propios de los sistemas CBIR, así mismo como la obtención de información acerca de los procesos de procesamiento digital de imágenes, extracción de características de imágenes y comparación de características, considerando de manera especial los componentes o subcapas que pertenecen a esta capa, debido a que son los componentes que implementan las funcionalidades principales del sistema y encapsulan la lógica de l prototipo.

Normalmente, son clases que implementan la lógica del negocio dentro de sus métodos; una de las principales ventajas de implementar una capa de dominio es lograr una clara diferenciación entre el comportamiento de los procesos de sistemas CBIR y los detalles de implementación relacionados a la infraestructura, aislando de esta manera el Dominio de la aplicación y facilitando la mantenibilidad, extensibilidad y la realización de pruebas del prototipo, por lo que se podrían sustituir las capas inferiores y el Dominio de la aplicación en nada se vería afectado.

A continuación se explica la importancia de los elementos tenidos en cuenta en esta capa:

- **Entidades del Dominio**

Las entidades representan objetos del dominio y están definidas por su identidad y continuidad, normalmente tienen correspondencia con los objetos del dominio y por lo general estas entidades necesitan sobrevivir en la aplicación, es decir, necesitan persistir y reconstruirse desde la base de datos en cualquier momento, de esta manera se brinda la continuidad, sin embargo, según sea la lógica de aplicación las entidades de dominio no están obligadas a existir para persistir en la aplicación.

Estos objetos son entidades de datos desconectados y su función principal es obtener y transferir datos de entidades entre las diferentes capas de la aplicación, están diseñados para representar objetos del mundo real relacionados con la lógica del negocio y con el objetivo de que sean clases independientes de la tecnología relacionada al acceso a datos, cumpliendo así con las exigencias de diseño de la capa del dominio.

- **Servicios del Dominio**

Los servicios del dominio permiten implementar funciones que conceptualmente no pertenecen al comportamiento de las entidades del dominio pero si a los procesos de la lógica del negocio, debido al modelo de programación empleado, estas operaciones son agrupadas en objetos.

- **Contratos de Repositorios**

La definición de los repositorios debe estar hecha en la capa del dominio, así la implementación de estos con la tecnología escogida no sea relevante en la capa del dominio, si es importante definir las interfaces que deben implementar dichos repositorios, ya que estos contratos especifican las funcionalidades que debe ofrecer cada repositorio. Se emplean las entidades de dominio como tipos de datos para intercambiar datos a través de los parámetros entre el repositorio y los servicios del dominio.

- **Principales Componentes de la Capa del Dominio del Prototipo**

La arquitectura seleccionada para guiar el desarrollo del prototipo tuvo en cuenta varios aspectos, entre ellos, la complejidad del dominio de los sistemas CBIR influenciados por la recuperación de imágenes por contenido a través de una imagen de ejemplo, de ahí que se diseñará un módulo que soporta la configuración inicial del prototipo, la caracterización de una imagen de ejemplo para la recuperación de la base de datos las imágenes que tengan un alto grado de similitud con la imagen de ejemplo y la gestión de casos clínicos almacenados en la base de datos. El diseño se realizó teniendo en cuenta, la construcción de componentes que puedan integrarse con componentes implementados en otros lenguajes soportados por la plataforma de desarrollo. Lo anterior debido a que las capas del modelo arquitectónico seguido en el prototipo están construidas en C# (C Sharp) y la librería de visión por computador OpenCV empleada para implementar las funciones relacionadas a la caracterización y comparación de las imágenes mediante procesamiento digital de imágenes, esta construida en C++.

- **Módulo CBIR**

Este módulo es clave dentro del diseño de la lógica del dominio del prototipo, su modelado está basado principalmente en la consideración de las necesidades básicas de los sistemas CBIR, está compuesto por los tres elementos definidos para la capa de dominio como se puede observar en la figura 27.

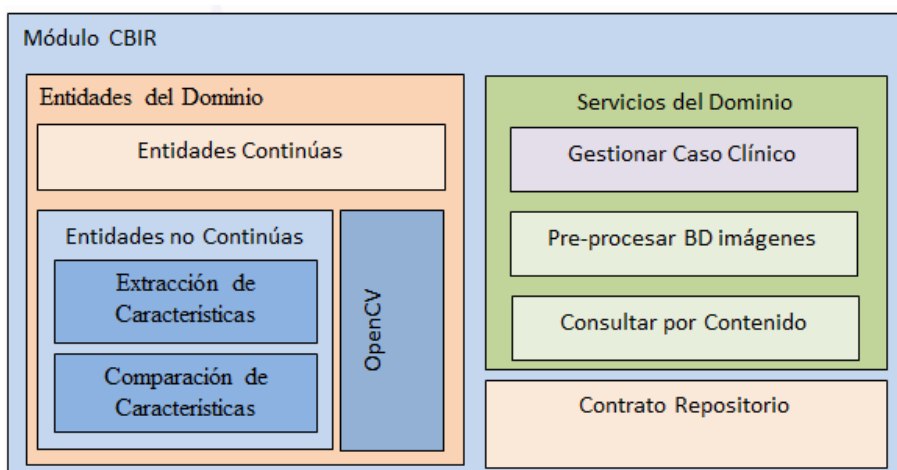


Figura 27. Módulo CBIR.

El componente de entidades de dominio de este módulo ha sido diseñado teniendo en cuenta la definición de entidades continuas y no continuas que permiten modelar la lógica del dominio real de un sistema CBIR.

Las entidades continuas han sido identificadas como aquellas que necesitan persistir en la aplicación y en cualquier momento las instancias de estas entidades puedan ser reconstruidas mediante el acceso a datos, mientras que las entidades no continuas han sido definidas para implementar parte de la lógica del dominio relacionada al procesamiento digital de las imágenes en las tareas de caracterización y comparación de imágenes digitales, en las que se hace uso de algunas funcionalidades expuestas en la librería de visión por computador OpenCV. Las entidades no continuas definidas en esta capa están implementadas en lenguaje C++, son extractores de características y medidas de similaridad que hacen uso de funcionalidades de OpenCV en su implementación y cuyo objetivo principal es calcular valores necesarios en la instanciación de entidades continuas.

Los servicios de dominio que se implementan en esta subcapa están desarrollados para ofrecer la gestión de casos clínicos de la base de datos, incluyendo la caracterización de las imágenes del caso clínico así como la gestión de los datos de diagnóstico que tiene relacionado cada caso. El pre-procesamiento de la base de datos del prototipo para extraer las características de las imágenes sobre las cuales se realizarán las consultas y por último, se ofrece el servicio que soporta la recuperación de imágenes por contenido a partir de una consulta formulada empleando una imagen de ejemplo.

El Contrato con el repositorio es la interfaz que define las funcionalidades que los repositorios de la capa de infraestructura deben ofrecer a esta capa para conseguir la persistencia de datos e imágenes relacionadas a los casos clínicos almacenados en la base de datos.

4.2.4. Casos de Uso reales.

A continuación en las tablas 6, 7, 8, 9 y 10 Se describen en formato del alto nivel los tres casos de uso reales más importantes del prototipo software. Para mayor detalle acerca de estos casos de uso y los restantes consultar el ANEXO D en donde también se encontraran la descripción en formato extendido.

CASO DE USO DEL PAQUETE GESTIONAR CONFIGURACIÓN

CASO DE USO FORMATO DE ALTO NIVEL	
Nombre del Caso de Uso:	Gestionar Configuración
Actores	
Administrador	
Tipo:	Primario
Descripción	
<p>El actor (Administrador) indica al sistema que desea configurar la base de datos de consulta del prototipo software, el sistema ejecuta la solicitud y el caso de uso inicia.</p> <p>El sistema solicita al actor (Administrador) que se seleccionen los archivos que serán subidos al servidor para realizar la nueva configuración, estos archivos deben contener un formato en su nombre que permita identificar y relacionar las imágenes digitales de biopsias de cuello uterino y la información asociada al diagnóstico. El actor (Administrador) selecciona los archivos y en respuesta el software procesa la información y la guarda. El caso de uso finaliza.</p>	
TRAZABILIDAD	
Artefactos Anteriores	Artefactos Posteriores
	<p>[Caso de Uso – Formato Expandido]</p> <p>[Caso de Uso – Seleccionar Imagen]</p>

Tabla 6. Caso de uso gestionar configuración. Formato Alto Nivel.

CASO DE USO PAQUETE CONSULTAR POR CONTENIDO

CASO DE USO FORMATO DE ALTO NIVEL	
Nombre del Caso de Uso:	Consultar por Contenido
Actores	
Administrador, Medico, Estudiante, Anónimo	
Tipo:	Primario
Descripción	
<p>El actor (Administrador, Medico, Estudiante, Anónimo) indica al sistema que desea realizar una consulta de imágenes digitales de cuello uterino basada en contenido visual mediante una imagen de ejemplo y el caso de uso se inicia.</p> <p>El sistema solicita al actor (Administrador, Medico, Estudiante, Anónimo) seleccionar una imagen de ejemplo para iniciar la búsqueda por contenido. El actor (Administrador, Medico, Estudiante, Anónimo) selecciona la imagen e indica que se debe iniciar la búsqueda, el sistema recupera las imágenes de la base de datos y el orden de éstas es definido por el grado de similitud que presenten con la imagen seleccionada. El caso de uso finaliza.</p>	
TRAZABILIDAD	
Artefactos Anteriores	Artefactos Posteriores
	<p>[Caso de Uso – Formato Expandido]</p> <p>[Caso de Uso – Seleccionar Imagen]</p>

Tabla 7. Caso de uso Consultar por Contenido. Formato Alto Nivel.

CASOS DE USO PAQUETE GESTIONAR CASO CLÍNICO

CASO DE USO FORMATO DE ALTO NIVEL	
Nombre del Caso de Uso:	Adicionar Caso Clínico
Actores	
Administrador, Médico	
Tipo:	Primario
Descripción	
<p>El actor (Administrador, Médico) indica al sistema que desea adicionar un nuevo caso clínico al sistema y el caso de uso se inicia.</p> <p>El sistema solicita al actor (Administrador, Médico) que ingrese los datos del nuevo caso clínico tales como: paciente, imágenes y diagnóstico. El actor (Administrador, Médico) introduce los datos correspondientes y el sistema guarda la información. El caso de uso finaliza.</p>	
TRAZABILIDAD	
Artefactos Anteriores	Artefactos Posteriores
	<p>[Caso de Uso – Formato Expandido]</p> <p>[Caso de Uso – Seleccionar Imagen]</p>

Tabla 8. Caso de uso Adicionar Caso Clínico. Formato Alto Nivel.

CASO DE USO FORMATO DE ALTO NIVEL	
Nombre del Caso de Uso:	Eliminar Caso Clínico
Actores	
Administrador, Médico	
Tipo:	Primario
Descripción	
<p>El actor (Administrador, Médico) indica al sistema que desea eliminar un caso clínico existente en sistema y el caso de uso se inicia.</p> <p>El sistema solicita al actor (Administrador, Médico) seleccionar el caso clínico a eliminar, el sistema ejecuta la solicitud y elimina el caso clínico. El caso de uso finaliza.</p>	
TRAZABILIDAD	
Artefactos Anteriores	Artefactos Posteriores
	<p>[Caso de Uso – Formato Expandido]</p> <p>[Caso de Uso – Seleccionar Imagen]</p>

Tabla 9. Caso de uso Eliminar Caso clínico. Formato Alto Nivel

CASO DE USO FORMATO DE ALTO NIVEL	
Nombre del Caso de Uso:	Actualizar Caso Clínico
Actores	
Administrador, Medico	
Tipo:	Primario
Descripción	
El actor (Administrador, Medico) indica al sistema que desea actualizar los datos de un caso clínico existente en sistema y el caso de uso se inicia.	
El sistema solicita al actor (Administrador, Medico) la información correspondiente a los datos del caso clínico. El actor (Administrador, Medico, Estudiante) indica que se deben actualizar los datos y el sistema guarda la información. El caso de uso finaliza.	
TRAZABILIDAD	
Artefactos Anteriores	Artefactos Posteriores
	[Caso de Uso – Formato Expandido] [Caso de Uso – Seleccionar Imagen]

Tabla 10. Caso de uso Actualizar Caso Clínico. Formato Alto Nivel.

4.2.5. Artefactos de Diseño

A continuación se describen los principales diagramas de diseño que describen estáticamente el funcionamiento del prototipo de acuerdo a la arquitectura del sistema.

4.2.5.1. Diagrama de Clases

Para la construcción del prototipo se realizó un diseño orientado a objetos de las entidades del dominio que modelan de forma adecuada la lógica del negocio del prototipo, con el objetivo de cumplir los requisitos planteados en los anteriores capítulos del documento. En la figura 28 Se ilustra el diagrama de clases de la lógica de la aplicación que fue modelado para ser parte de la capa del dominio dentro del mapeo de la arquitectura planteada para el prototipo.

PROTOTIPO DE SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE IMÁGENES MICROSCÓPICAS BASADA EN CONTENIDO VISUAL PARA EL ASESORAMIENTO DEL DIAGNÓSTICO DE CONDILOMA PLANO VIRAL

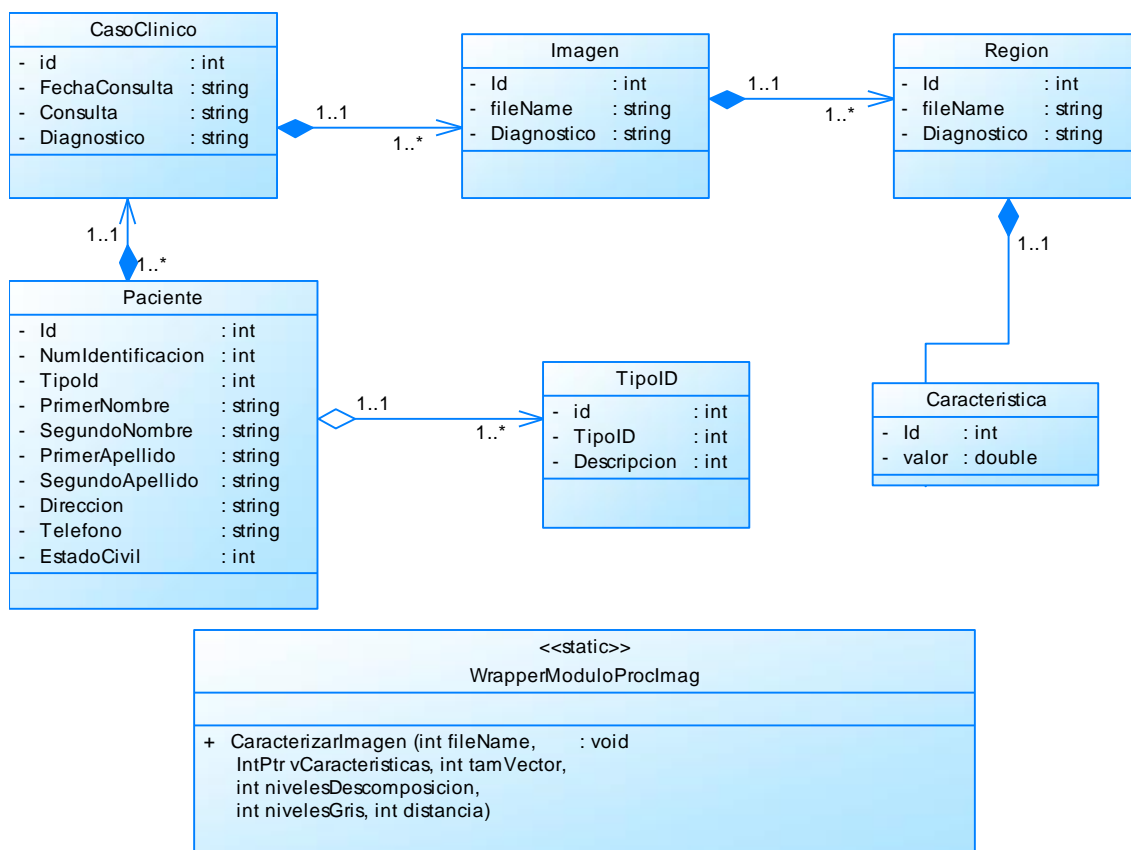


Figura 28. Diagrama de clases del dominio del prototipo

4.2.5.2. Modelo lógico

En la figura 29 Se ilustra el modelo físico de la base de datos que soporta en el prototipo la persistencia de la información relacionada a los casos clínicos y las imágenes asociadas con sus respectivas caracterizaciones visuales.

PROTOTIPO DE SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE IMÁGENES MICROSCÓPICAS BASADA EN CONTENIDO VISUAL PARA EL ASESORAMIENTO DEL DIAGNÓSTICO DE CONDILOMA PLANO VIRAL

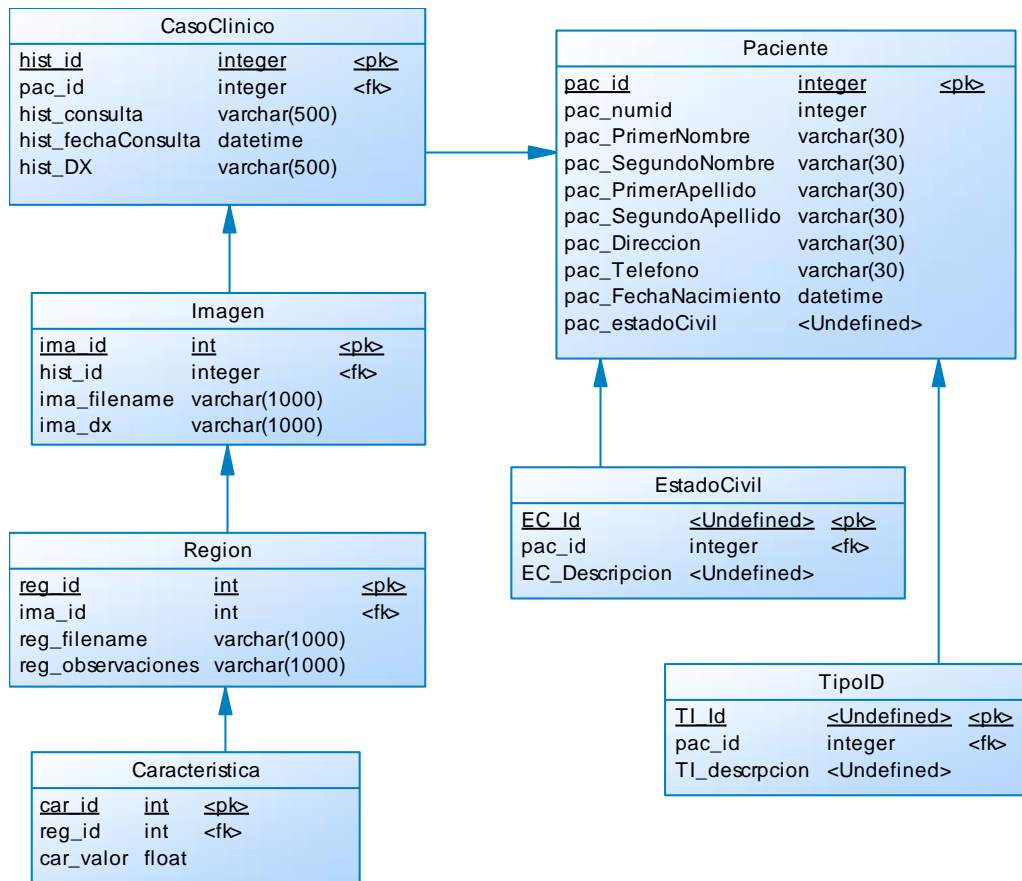


Figura 29. Modelo físico del prototipo software.

4.3. IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

Este capítulo describe el proceso seguido para la implementación de las funcionalidades ofrecidas por el prototipo de sistema de recuperación de imágenes médicas basada en contenido visual que se construyó; se muestran las actividades y productos obtenidos en los ciclos de diseño y construcción del software.

Teniendo en cuenta la arquitectura seleccionada y la metodología de desarrollo empleada para la construcción del prototipo en donde la implementación también es guiada por la arquitectura a continuación se describe la vista de implementación.

4.3.1. Vista de Implementación

Para la construcción del prototipo software que cumple con los requerimientos planteados en el ANEXO A se diseñaron un conjunto de componentes. El diseño fue realizado teniendo en cuenta la arquitectura planteada en la Figura 30 de la sección anterior. Los componentes que se resaltan en color gris hacen referencia a los componentes que fueron implementados y el componente de color blanco corresponde a la librería de visión artificial OpenCv importada y empleada en el proyecto. Teniendo en cuenta esto, la comunicación de los componentes del Módulo CBIR se ilustra en la figura 30.

PROTOTIPO DE SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE IMÁGENES MICROSCÓPICAS BASADA EN CONTENIDO VISUAL PARA EL ASESORAMIENTO DEL DIAGNÓSTICO DE CONDILOMA PLANO VIRAL

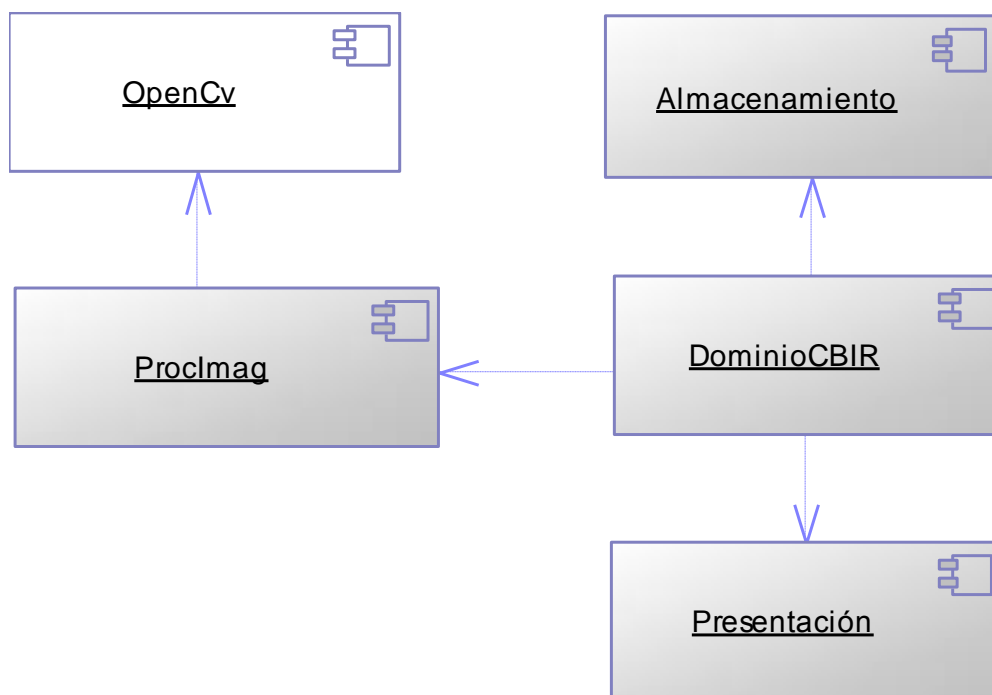


Figura 30. Diagrama de Componentes.

La Tabla 11 contiene en detalle la descripción de cada uno de los componentes del módulo CBIR del prototipo software.

COMPONENTE	FUNCIÓN
OpenCv	Librería utilizada para la manipulación y procesamiento de imágenes digitales.
Proclmag	Submodulo que contiene las clases necesarias en las tareas de procesamiento de imágenes y extracción de características de imágenes digitales de cuello uterino.
DominioCBIR	Contiene clases que permiten obtener una caracterización de una imagen digital de cuello uterino que puede ser empleada para ser comparada con características de otras imágenes ya almacenadas en la base de datos y ofrecer un conjunto de imágenes similares como respuesta, almacenar un nuevo caso en la base de datos o en la configuración del prototipo software en el cargue inicial de la información de la

	base de datos.
Almacenamiento	Contiene las clases que permiten dar persistencia a los datos del prototipo software.
Presentación	Contiene clases y páginas web que ofrecen la interfaz al usuario según su perfil para consultar imágenes por contenido mediante una imagen de ejemplo, gestionar los casos de la base de datos y configurar el prototipo.

Tabla 11. Componentes del módulo CBIR

4.3.2. Construcción del Prototipo

En el planteamiento del proyecto *Prototipo De Sistema De Recuperación De Imágenes Microscópicas Basada En Contenido Visual Para El Asesoramiento Del Diagnóstico De Condiloma Plano Viral* se definieron las tecnologías que se emplearían para su desarrollo. Para la definición de tecnologías realizada en el planteamiento del proyecto, se destaca la decisión de emplear la librería de visión por computador OpenCv para las tareas de procesamiento de las imágenes digitales y el uso de Visual Studio 2010 Ultimate como entorno de desarrollo que permite desarrollar en C++, el lenguaje en el que se puede emplear la librería mencionada, y exportar esas funcionalidades a través de una dll.

Para la construcción del prototipo software, se realizaron 3 iteraciones. En la primera iteración se implementaron las funcionalidades encargadas de hacer el procesamiento digital de las imágenes empleando C++. La segunda iteración construyó el primer prototipo web que ofreció búsqueda por contenido de imágenes, adición de nuevas imágenes a la base de datos y se hicieron ajustes sobre la implementación ya existente en C++. Por último, la tercera iteración consistió en refinar el prototipo ya existente e implementar las funcionalidades de autenticación, gestión de la configuración del prototipo y los casos clínicos del prototipo.

En la construcción del prototipo se hizo uso de algunas herramientas tecnológicas, a continuación se describe el proceso de integración que se realizó.

La herramienta de desarrollo se empleó el framework de .NET y el entorno de desarrollo Visual Studio 2010 Ultimate, debido a la gran cantidad de funcionalidades que brinda y su fabricante (Microsoft Corporation) ofrece un fuerte soporte sobre cada uno de sus productos. Adicionalmente, escoger estas herramientas nos dio como ventaja contar con una amplia documentación y foros guiados por expertos en el portal MSDN (Microsoft Developer Network) que sirvieron como apoyo durante todo el proceso de construcción del prototipo.

Para la construcción del prototipo se seleccionaron dos lenguajes de programación, C Sharp y C++, ambos lenguajes son soportados por el entorno de desarrollo Visual Studio 2010 Ultimate. C Sharp fue empleado por ser un lenguaje sencillo de manejar y orientado a objetos, gracias al soporte brindado por el framework para este lenguaje se pudo acceder a componentes ya implementados y que facilitaron el desarrollo del prototipo, éste fue el lenguaje empleado para el mapeo de la arquitectura y la construcción de todas las funcionalidades que no están relacionadas a hacer procesamiento digital de imágenes, la construcción del prototipo se ofreció una interfaz web definida por ASP.NET. Finalmente en las tareas propias de procesamiento digital de imágenes se empleó el lenguaje C++ para la construcción de una dll (Dynamic-Link Library) que exportó las funcionalidades empleadas en la aplicación web construida en C Sharp. Las tareas de procesamiento digital de imágenes y extracción de características fueron implementadas en C++ teniendo en cuenta la alta complejidad computacional de estos procesos, la rapidez ampliamente conocida de C++ y para facilitar el acceso a algunas funcionalidades de la librería OpenCv.

Como sistema gestor de base de datos fue empleado SQL Server 2008 R2, sin embargo, la base de datos puede ser migrada a una versión express y soportar hasta 4 GB de información de características de imágenes.

4.3.2.1. Primera Iteración

En ésta iteración, se implementaron las clases y funcionalidades que permitían procesar una imagen digital y hacer el proceso de extracción de características de ella en una aplicación de C++, luego de probar que funcionaba correctamente éste proceso se construyó una dll que exportó estas funciones para ser empleadas en el prototipo web. En la figura 31, se ilustra la definición de la exportación de una de las funciones de la dll.

```
extern "C" _declspec(dllexport) void caracterizarI(char *fileName, double *vCaracteristicas, int tamVector,
int nivelesDescomposicion, int nivelesGris, int distancia);
```

Figura 31. Ejemplo de función definida en la DLL.

La función que exporta las funcionalidades en la dll construida hace uso del módulo de procesamiento digital de la imagen, en la figura 32 se muestra su diagrama de clases.

PROTOTIPO DE SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE IMÁGENES MICROSCÓPICAS BASADA EN CONTENIDO VISUAL PARA EL ASESORAMIENTO DEL DIAGNÓSTICO DE CONDILOMA PLANO VIRAL

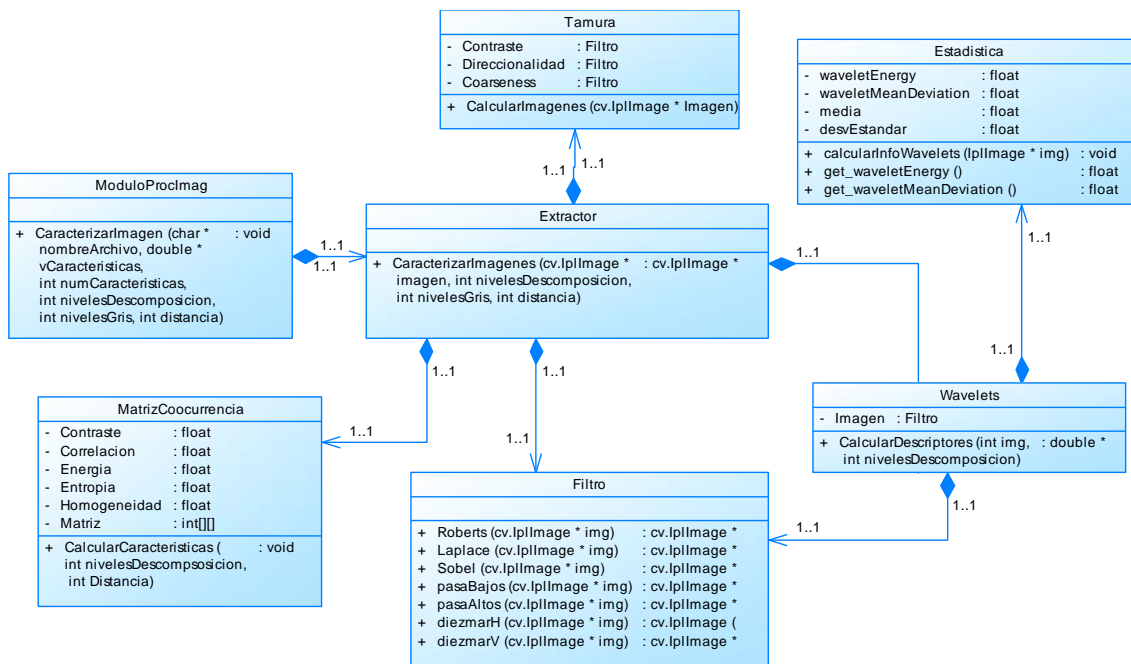


Figura 32. Módulo de procesamiento digital de imágenes

El proceso detallado de las actividades que se desarrollaron en la primera iteración se puede encontrar en el ANEXO C.

4.3.2.2. Segunda Iteración

Luego de la construcción de la dll que exportó las funcionalidades que permitieron caracterizar una imagen digital, se implementó un prototipo web que ofreció la recuperación de imágenes basada en contenido visual mediante una imagen de ejemplo. Seguidamente se evaluó la calidad de la recuperación ofrecida por el prototipo, se implementó la adición de nuevas imágenes a la base de datos de imágenes con su respectiva caracterización y se hicieron algunos ajustes sobre las funcionalidades ya implementadas en la dll. En la figura 33 Se muestra la interfaz del primer prototipo web construido. La descripción detallada de las actividades de la iteración 2 se encuentran en detalle en los ANEXOS C.

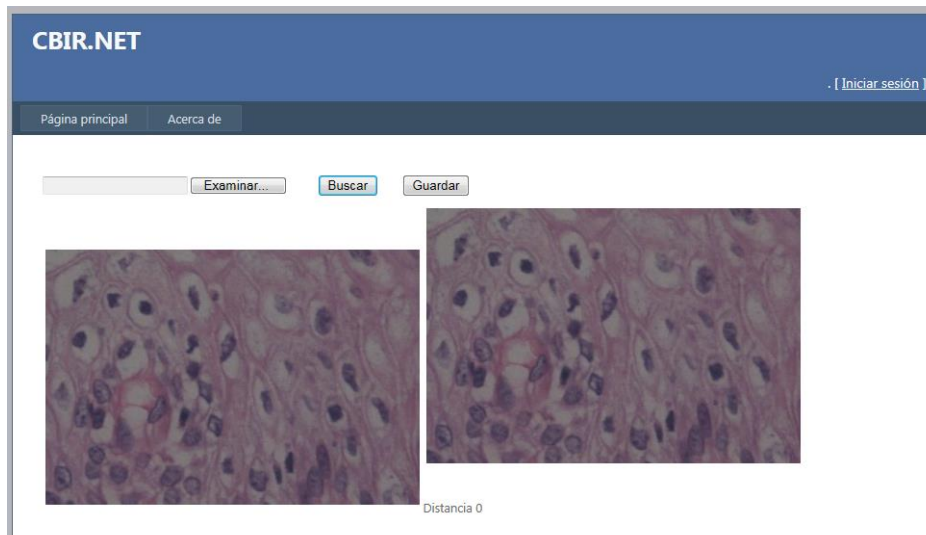


Figura 33. UI de búsqueda por contenido de la primera Iteración.

4.3.2.3. Tercera Iteración

En el inicio de la tercera iteración se mejoró la interfaz de usuario de la búsqueda por contenido ya implementada, en la figura 34 se muestra la interfaz final del prototipo que soporta la búsqueda por contenido; el usuario selecciona una imagen, la carga, busca y en la parte derecha puede navegar a través de las imágenes que presenten mayor grado de similitud empleando las opciones de “Anterior” y ”Siguiete”, por cada imagen que se muestre como similar el prototipo muestra el caso clínico asociado y todo el conjunto de imágenes existentes para ese caso clínico de la base de datos.

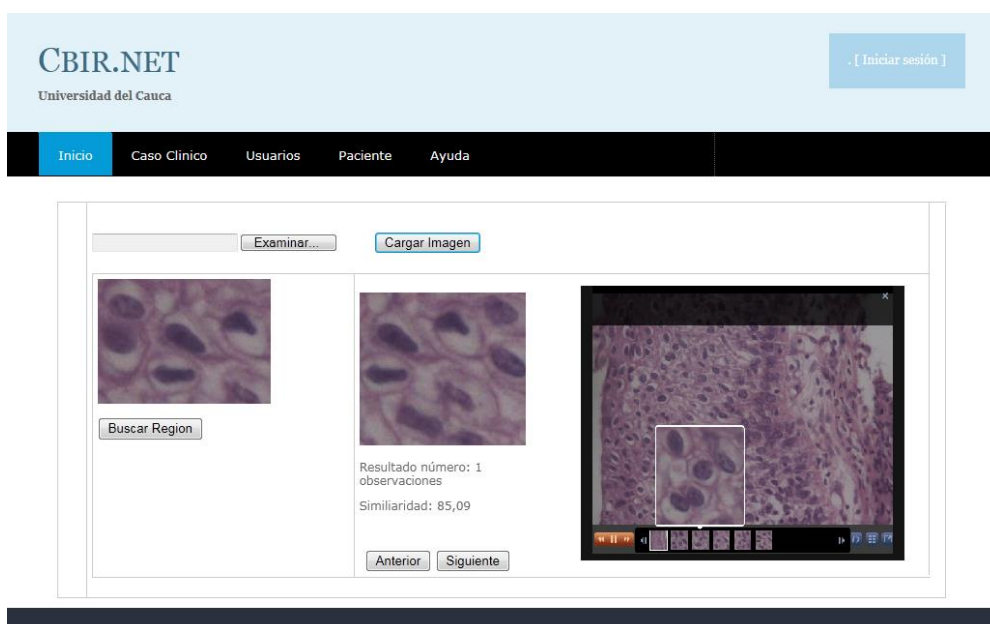


Figura 34. UI para la búsqueda por contenido mediante una imagen de ejemplo.

Finalmente, en la Iteración 3 se implementaron los paquetes Gestionar Configuración, Gestionar Caso Clínico y Gestionar Usuarios. En la figura 35 se puede observar la interfaz de usuario definida para la gestión de Configuración, con la cual se puede configurar la base de datos del prototipo mediante una carga masiva de imágenes, y archivos de texto que asocian las imágenes a pacientes y casos clínicos.

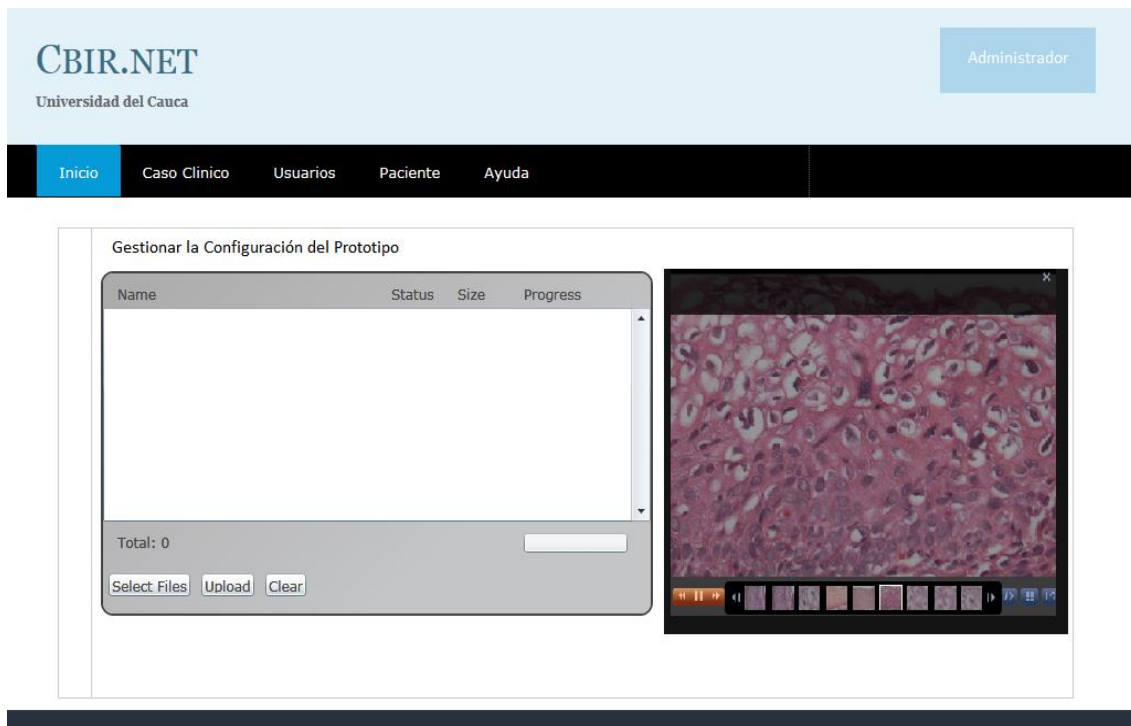


Figura 35. Interfaz para Gestionar la Configuración del Prototipo.

La descripción detallada de las actividades de la iteración 3 se encuentra en detalle en los ANEXOS C.

4.4. PRUEBAS DE SOFTWARE

4.4.1. Pruebas de Unidad

4.4.1.1. Objetivo y Diseño

El proceso de ejecución de pruebas software se basa en la aplicación de pruebas a las principales funcionalidades del prototipo que puedan afectar su comportamiento funcional. A través de pruebas de unidad, se evaluó el correcto desempeño de las funcionalidades exportadas en la dll y de las funcionalidades que implementan en el prototipo web la recuperación de imágenes, configuración del sistema y la adición de nuevas imágenes a la base de datos, le descripción de las pruebas realizadas se encuentran con mayor detalle en el ANEXO E.

Los principales paquetes que se han probado son los siguientes:

Paquete Configuración del Prototipo

- Configuración del Prototipo

Servicio	Prueba
Configurar	Este servicio se probará cargando archivos de configuración que permitan cargar 3 casos clínicos a base de datos.

Tabla 12. Descripción Componente - Configuración del Prototipo

Paquete Consultar por Contenido

- Consultar por Contenido

Servicio	Prueba
Consultar	Este servicio se probará realizando dos consultas al prototipo, una consulta será consultar una región que ya se encuentre en la base de datos y la otra será consultar una región la cual se conozca con anterioridad cual es la más similar.

Tabla 13. Descripción Componente - Consultar por Contenido.

Los elementos que fueron evaluados se hicieron teniendo en cuenta únicamente la funcionalidad.

Para la aplicación de las pruebas de unidad se empleó el estándar IEEE 829-1998 (IEEE Standard for Software Test Documentation, 1998), de esta forma se partió de un conjunto estable de parámetros a evaluar, para los cuales ya existía una definición aceptada como estándar.

4.4.1.2. Resultados

La descripción detallada de la aplicación de las pruebas realizadas a los diferentes elementos del software evaluados se encuentra en el ANEXO E. A partir de estas pruebas y los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

- Las pruebas de unidad aplicadas a los componentes software permitieron identificar algunos errores que fueron posteriormente corregidos.
- Una vez aplicado el conjunto de pruebas a los elementos del software evaluados, se aseguró que estos elementos evaluados aprobaran el test realizado entregando respuestas esperadas.

Una vez se aplicó el conjunto de pruebas diseñado, en el paquete de consulta por contenido se encontraron errores en el ordenamiento de las imágenes del conjunto de respuesta según su grado de similitud, así como también en el proceso de caracterización de imágenes, en donde el vector de características generado por la extracción de características presentaba problemas con el número de decimales reconocidos en ejecución y el número de decimales reales almacenados en la base datos. Finalmente estos problemas fueron corregidos y a continuación se muestra la tabla de particiones y batería de pruebas realizada para asegurar el correcto funcionamiento para los paquetes de configuración y consulta por contenido.

Paquete Configuración del Prototipo

- **Componente Configuración del Prototipo**

Se analizan las posibles entradas. Se determinan los definen los siguientes elementos asociados a las entradas para simplificar la escritura de las condiciones.

- NAT: número de archivos de texto seleccionados → {1}
- NI: número de imágenes seleccionadas → {1,2,3....}
- CAF: Contenido de Archivo de Configuración Valido

A continuación se presenta la tabla de particiones:

Asume		Condición	Clases Correctas	Id_Clase	Clases incorrectas	Id_clase
	A	Número de parámetros en "NAT"	{NAT>0}	1	{NAT=0}	2
A	B	Número de parámetros en "NI"	NI>0}	3	{NI=0}	4
A,B		Contenido del Archivo válido	CAF valido	5	CAF invalido	6

Tabla 14. Tabla de Particiones para el Componente Configuración del Prototipo

La batería de pruebas que se obtiene es:

	Entradas	Salidas	Clases cubiertas	Valores límites	Salidas
Clases Correctas	(1,1, "conf.txt"	Configura el prototipo	1, 3,5	(1,1,"conf.txt".)	Configura el prototipo
Clases incorrectas	(0)	No configura el prototipo	2,4,6		

Tabla 15. Tabla de batería de prueba para el componente Configurar Prototipo

Paquete Consultar por Contenido

- **Consultar por Contenido**

Se analizan las posibles entradas. Se determinan los definen los siguientes elementos asociados a las entradas para simplificar la escritura de las condiciones.

- AS: número de archivos seleccionados.
- RS: número de regiones seleccionadas.
- FAS: formato imagen → (jpg, png, bmp)
- FRS: formato de región → (jpg, png, bmp)

A continuación se presenta la tabla de particiones:

Asume		Condición	Clases Correctas	Id_Clase	Clases incorrectas	Id_clase
	A	Número de parámetros en "AS"	{AS=1}	1	{AS!=1}	2
A	B	Número de parámetros en "RS"	RS>=1}	3	{RS!=1}	4
A		FAS en formato válido	{AS ∈ F}	5	{AS ∉ F}	6
B		FRS en formato válido	{RS ∈ F}	7	{RS ∉ F}	8

Tabla 16. Tabla de Particiones para el componente de Consulta por Contenido

La batería de pruebas que se obtiene es:

	Entradas	Salidas	Clases cubiertas	Valores límites	Salidas
Clases Correctas	(1,1, "jpg", "jpg")	Consulta al prototipo	1, 3,5,7		
Clases incorrectas	(1,1,"gif", "gif")	No consulta el prototipo	2,4,6,8		

Tabla 17. Tabla de baterías de prueba para el componente de Consulta por Contenido

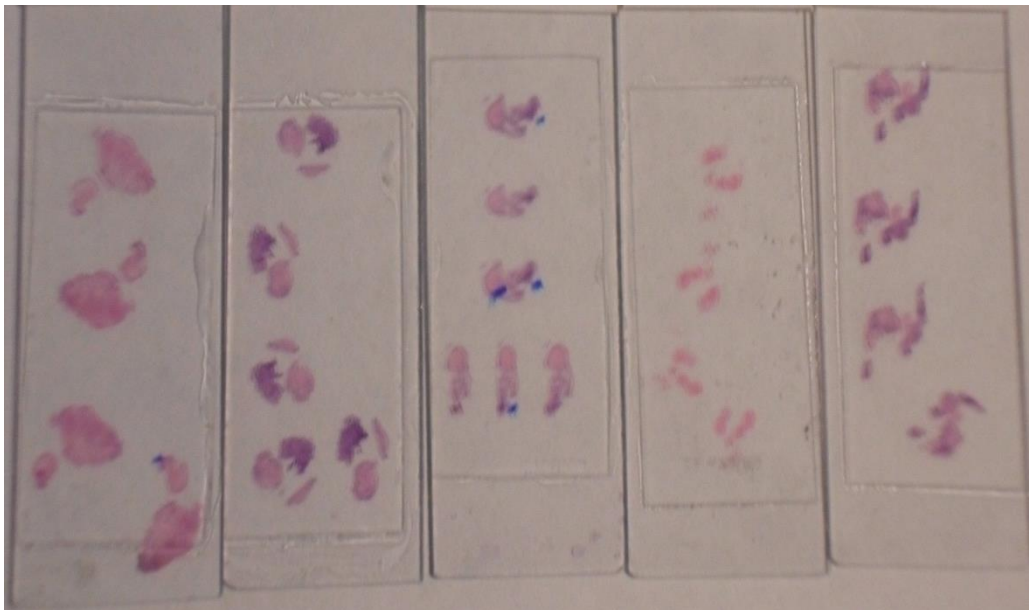
4.4.2. Optimización de algoritmos

4.4.2.1. Objetivo

Como parte del trabajo de evaluación de los algoritmos implementados para realizar las tareas de procesamiento digital de imágenes en el proceso de extracción de características, se realizaron un conjunto de pruebas para identificar modificaciones a los diferentes parámetros de los algoritmos, con el objetivo de adaptarlos al conjunto de las imágenes de la base de datos del prototipo y de esta manera conseguir un vector de características con información relevante para la diferenciación de las imágenes digitales de biopsias de cuello uterino.

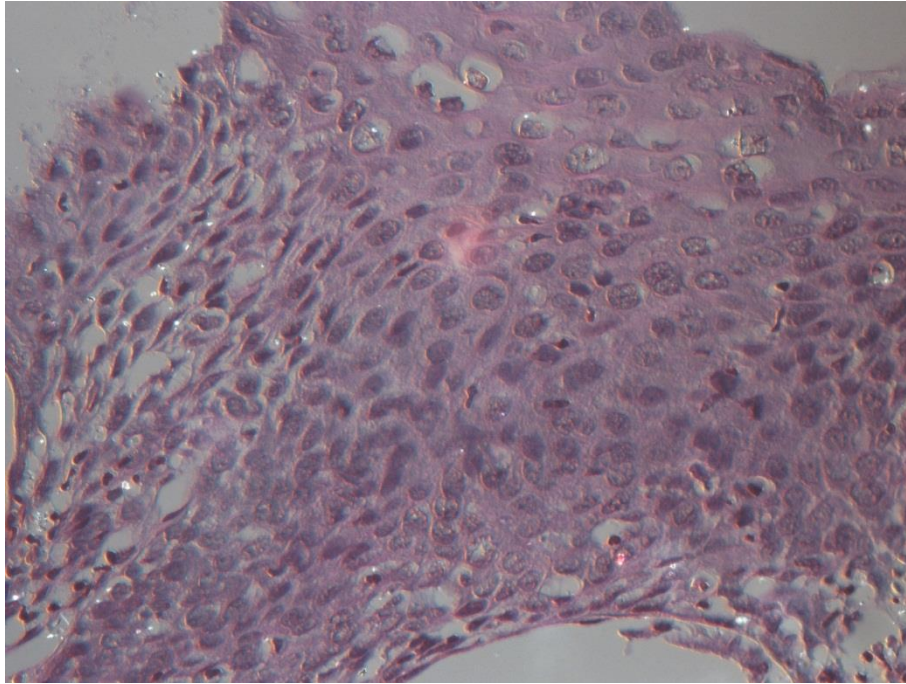
4.4.2.2. Diseño

Inicialmente se digitalizaron imágenes de placas de biopsias de cuello uterino que contienen tejidos infectados y no infectados por el VPH, un conjunto de placas de biopsias de cuello uterino se puede observar en la Figura 36. El proceso de digitalización de las imágenes consistió en tomar de cada placa varias imágenes de los tejidos analizados a una resolución de 40x, un ejemplo de esta digitalización se muestra en la figura 37.



FUENTE: Fotografía tomada en el desarrollo de este proyecto.

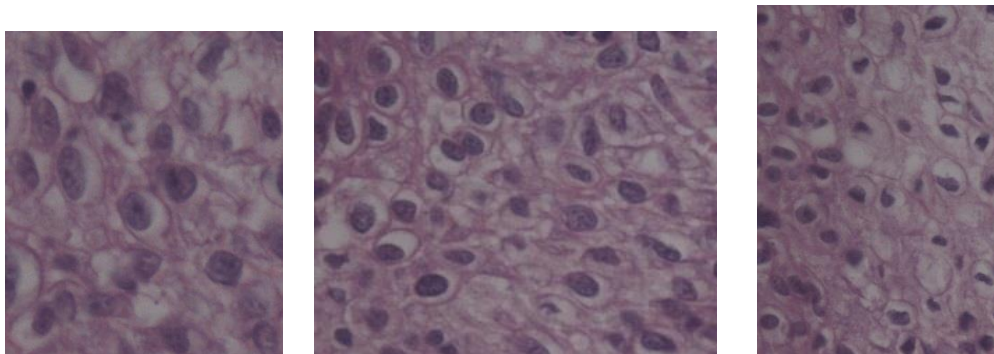
Figura 36. Conjunto de placas de biopsias de cuello uterino.



FUENTE: La imagen corresponde a una placa de biopsia de cuello Uterino de la Compañía de Patólogos del Cauca, fue digitalizada en el Laboratorio de Microscopía de la Universidad del Cauca.

Figura 37. Imagen digitalizada de biopsia de cuello uterino a una resolución de 40x.

De las imágenes digitalizadas de las biopsias de cuello uterino se seleccionaron algunas subregiones correspondientes a las regiones de la imagen en donde los especialistas en Patología realizan los análisis para determinar la presencia o ausencia de VPH y con estas subregiones se construyó la base de datos de recuperación para las pruebas. En la figura 38 se observan algunas de las subregiones seleccionadas

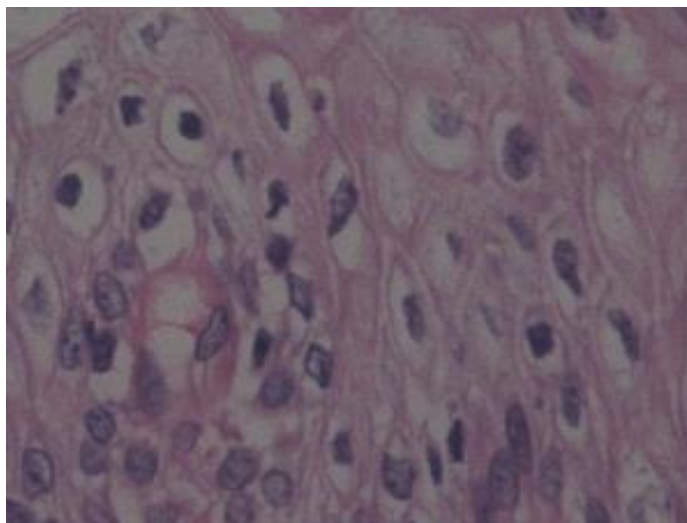


FUENTE: Las imágenes corresponden a una placa de biopsia de cuello Uterino de la Compañía de Patólogos del Cauca, fue digitalizada en el Laboratorio de Microscopía de la Universidad del Cauca.

Figura 38. Ejemplos de subregiones almacenadas en la base de datos.

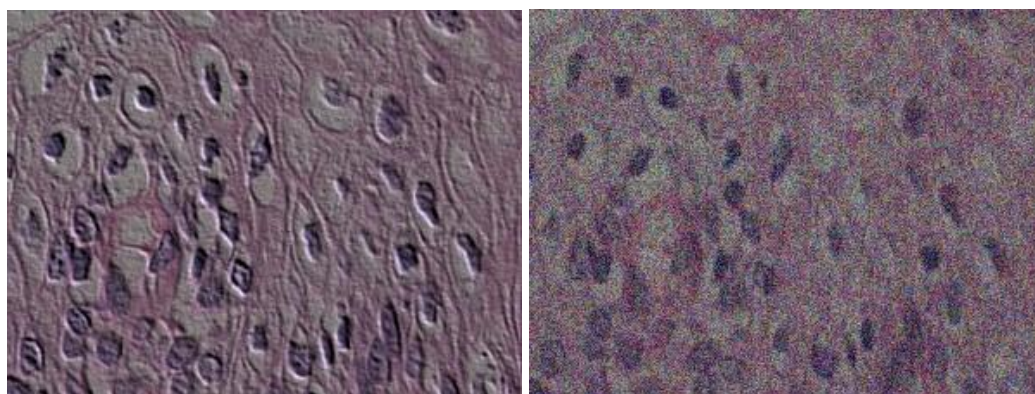
El conjunto de subregiones que conformo la base de datos de imágenes fue dividido en dos, se seleccionó un subconjunto de imágenes para ser modificadas a través de la aplicación de filtros y efectos que alteraron la imagen original. El subconjunto de imágenes resultado de las alteraciones fue adicionado a la base de datos de imágenes y sus imágenes originales se convirtieron en las imágenes de prueba para validar la

recuperación del prototipo. En la figura 39 se muestra una imagen original y en la figura 40 dos modificaciones.



FUENTE: Las imágenes corresponden a una placa de biopsia de cuello Uterino de la Compañía de Patólogos del Cauca, fue digitalizada en el Laboratorio de Microscopía de la Universidad del Cauca.

Figura 39. Subregión de prueba.



FUENTE: Las imágenes corresponden a una placa de biopsia de cuello Uterino de la Compañía de Patólogos del Cauca, fue digitalizada en el Laboratorio de Microscopía de la Universidad del Cauca.

Figura 40. Subregiones de imágenes de biopsias de cuello uterino modificadas digitalmente.

El proceso de probar los algoritmos de extracción de características consistió en formular consultas por contenido al prototipo mediante una imagen de ejemplo tomada del conjunto de imágenes de prueba y la respuesta esperada para considerar un correcto funcionamiento en la recuperación del prototipo se condicionó a que en el conjunto de imágenes de respuesta, dentro de las tres imágenes que presenten mayor grado de similitud a la imagen consultada se encuentre su imagen modificada. Teniendo en cuenta lo anterior se experimentaron diferentes parámetros para los algoritmos de extracción de características hasta determinar los valores finales que se adecuaron a las pruebas planteadas.

4.4.2.3. Resultados

Los resultados obtenidos al aplicar las pruebas para validar la recuperación por contenido de imágenes del prototipo fue el ajuste de los parámetros que condicionan el funcionamiento de los algoritmos implementados en el módulo de procesamiento y extracción de características de imágenes digitales. El ajuste de cada uno de los algoritmos planteados en las tareas de extracción de características se detalla en el capítulo de caracterización de imágenes.

Las principales modificaciones implementadas se realizaron para disminuir la complejidad computacional de los algoritmos y mejorar la capacidad de discriminación de la información extraída de las imágenes y que representa el contenido de la imagen a través del vector de características. Es así como se definen el tamaño de las vecindades, los operadores o mascararas de convolución aplicadas sobre cada punto de la imagen y se reducen los tamaños de las matrices de coocurrencia para disminuir el tiempo de su cálculo.

4.5. IMPLANTACIÓN DEL PROTOTIPO

El despliegue del prototipo software se realizó sobre una estación de trabajo comercial, empleada como servidor para hospedar la aplicación web y el servidor de base de datos, el servidor soporta el despliegue de aplicaciones web desarrolladas en ASP.NET.

4.5.1. Vista de despliegue

A continuación se describe la distribución física de los principales componentes que interactúan en la aplicación, Se identifican dos nodos que se comunican a través de internet. El Cliente representa las máquinas de los usuarios del prototipo que empleando un navegador de internet acceden a la aplicación web alojada en el servidor. La interacción entre el cliente y servidor se da cuando los usuarios envían peticiones a la aplicación que se encuentra en el servidor por medio del navegador de internet y como respuesta la aplicación envía datos al cliente.

En la construcción de esta aplicación se tuvieron en cuenta las siguientes tecnologías:

- **Visual Studio 2010 Ultimate:** como entorno de desarrollo.
- **.NET Framework 4.0:** como plataforma de desarrollo.
- **C# y C++:** como lenguajes de desarrollo.
- **OpenCV:** Como librería de procesamiento digital de imágenes.
- **ASP.NET:** como framework de desarrollo de aplicaciones web.
- **SQL Server 2008 R2:** como sistema gestor de bases de datos para soportar la persistencia de los datos del prototipo.

En la figura 41 se describe la interacción entre los nodos que se mencionaron anteriormente.

PROTOTIPO DE SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE IMÁGENES MICROSCÓPICAS BASADA EN CONTENIDO VISUAL PARA EL ASESORAMIENTO DEL DIAGNÓSTICO DE CONDILOMA PLANO VIRAL

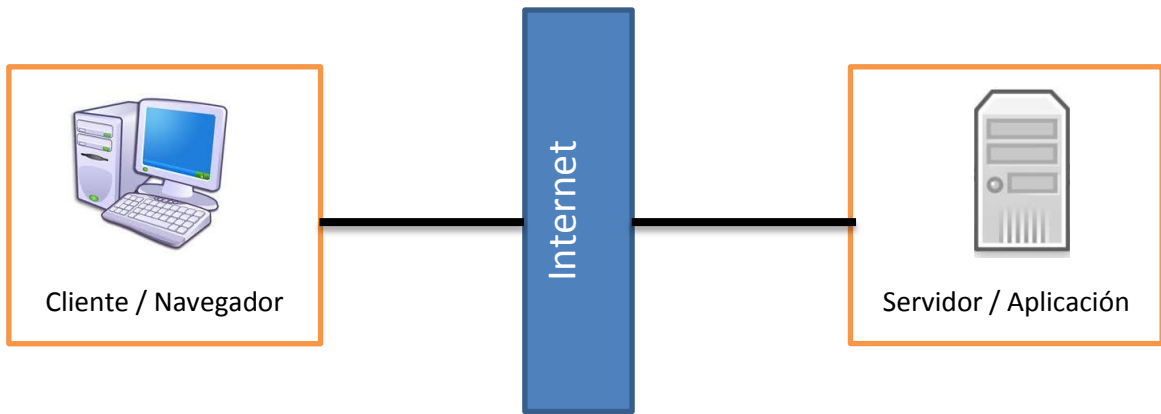


Figura 41. Vista de Despliegue.

5. EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO

En este capítulo se documenta el proceso de evaluación realizado a la recuperación de imágenes basada en contenido implementada en el prototipo, con el objetivo de determinar su nivel de exactitud en la recuperación. Las pruebas o evaluación se diseñó teniendo en cuenta la construcción de una matriz de confusión (Barreno, 2008) que permitieran evaluar la recuperación de imágenes digitales de cuello uterino para las cuales ya se conocía el resultado ideal.

La construcción de la matriz de confusión es una herramienta que permite probar la exactitud del funcionamiento de un sistema de consulta o clasificación evaluando los valores de las celdas de la matriz, la cual es llenada teniendo en cuenta los aciertos y desaciertos de una clasificación o consulta. Por ejemplo, si tenemos un conjunto de 100 datos y tenemos que clasificarlos en 3 clases, la matriz de confusión se construye creando una matriz de 3x3 y asignando a cada posición de la matriz el número de datos clasificados pertenecientes a la clase C_i que fueron clasificados en la clase C_j . En la Tabla 12 se describe un ejemplo en donde 30 de los 35 datos pertenecientes a la clase C_1 fueron clasificados correctamente mientras que los otros 5 datos pertenecientes a la clase C_1 fueron clasificados erróneamente en la clase C_2 . En una matriz de confusión el porcentaje que representa la correcta clasificación para una clase está definido por la división entre el número de datos correctamente clasificados de esa clase y el número total de datos pertenecientes a la misma clase, mientras que el porcentaje que representa la correcta clasificación de todas las clases se calcula a partir de la división entre la sumatoria de todos los elementos de la diagonal principal de la matriz y la sumatoria de todos los elementos de la matriz.

Clasificación	C1	C2	C3	%
Datos				
C1	30	5	0	85.71
C2	5	25	0	83.33
C3	0	15	30	66.666
				77.27

Tabla 18. Ejemplo de Matriz de confusión.







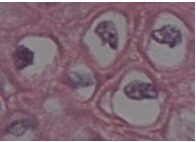
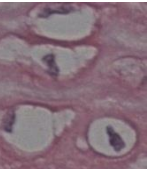
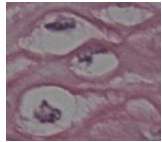
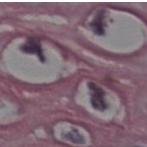
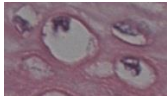
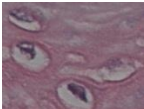
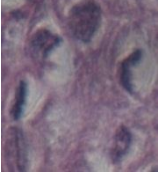
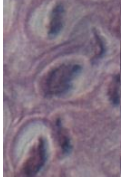
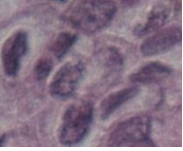
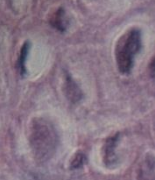
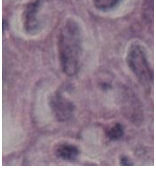
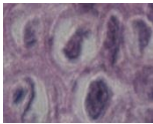
5.1. PREPARACIÓN DE LA BASE DE DATOS DE IMÁGENES.

La construcción de la base de datos de imágenes digitales para probar la precisión de la recuperación del prototipo software se realizó con la digitalización de un conjunto de 30 biopsias de cuello uterino de tejidos infectados con el VPH y que presentaron alteraciones de Condiloma Plano Viral junto con biopsias de cuello uterino que no presentaban alteraciones en los tejidos contenidos en las placas.

PROTOTIPO DE SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE IMÁGENES MICROSCÓPICAS BASADA EN CONTENIDO VISUAL PARA EL ASESORAMIENTO DEL DIAGNÓSTICO DE CONDILOMA PLANO VIRAL

De cada placa obtenida a partir de una biopsia en donde se plasman cortes del tejido de cuello uterino, se tomaron varias imágenes digitales que representaron diferentes cortes de la placa o diferentes regiones de un corte. La digitalización de las imágenes se realizó a través de un microscopio óptico con cámara digital que permitió capturar las imágenes digitales a una resolución de 40x.

A partir de las imágenes digitalizadas directamente de las placas de biopsias de cuello uterino se realizaron cortes de regiones de interés y dichas regiones fueron almacenadas y caracterizadas en la base de datos del prototipo. En cuanto a las condiciones de digitalización y ajuste de las regiones almacenadas en la base de datos es importante mencionar que las regiones tienen dimensiones diferentes y durante el proceso de digitalización se emplearon diferentes configuraciones en el microscopio. Finalmente, el conjunto de imágenes definido para probar la recuperación del prototipo se construyó seleccionando en total 12 regiones de prueba, para las cuales se conocía la respuesta deseada que debe brindar el prototipo para un desempeño del 100%; cada imagen de prueba contiene en la base de datos 5 imágenes consideradas con un alto grado de similitud. En la tabla 19 Se observan algunas de las imágenes de prueba y sus imágenes similares en la base de datos.

Imagen de prueba	Imagen 1	Imagen 2	Imagen 3	Imagen 4	Imagen5
					
					
					

FUENTE: Las imágenes corresponden a una placa de biopsia de cuello Uterino de la Compañía de Patólogos del Cauca, fue digitalizada en el Laboratorio de Microscopía de la Universidad del Cauca.

Tabla 19. Imágenes de prueba con sus imágenes similares de la base de datos.

PROTOTIPO DE SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE IMÁGENES MICROSCÓPICAS BASADA EN CONTENIDO VISUAL PARA EL ASESORAMIENTO DEL DIAGNÓSTICO DE CONDILOMA PLANO VIRAL

La evaluación del prototipo se realizó formulando consultas mediante una imagen de ejemplo al prototipo con cada una de las 12 imágenes de prueba, los resultados ofrecidos en cada consulta por el prototipo fueron comparados con los resultados ideales que se esperaban en la respuesta, es decir, sí el prototipo funciona correctamente la respuesta presentada al usuario debe contener en sus primeros 5 resultados las 5 imágenes con alto grado de similaridad de la base de datos, las cuales ya se conocen. Considerando que cada imagen de prueba y conjunto de respuesta ideal pertenecen a una misma clase, para cada consulta formulada al prototipo se pueden clasificar las 5 primeras imágenes de su respuesta dentro de la clase de la imagen de prueba con la que se formuló la consulta, y al compararse la respuesta dada por el prototipo con la respuesta ideal esperada se pueden determinar las imágenes correctamente clasificadas y las imágenes de otras clases que fueron mal clasificadas en la respuesta actual, es así como se genera la matriz de confusión para obtener la precisión en la recuperación de cada uno de los casos de prueba y la precisión promedio de recuperación de toda la prueba. Teniendo en cuenta que se implementaron 3 medidas de distancia en el prototipo que permiten diferenciar las imágenes digitales de cuello uterino, se realizó la anterior evaluación empleando cada una de las distancias y según los resultados obtenidos la distancia que mostró mejor desempeño fue la Distancia de Manhattan. A continuación, en la Tabla 20 se muestra la matriz de confusión generada empleando la Distancia de Manhattan y siendo el porcentaje de precisión promedio de la recuperación calculado a partir de la suma de la diagonal principal de la matriz, dividida por el número total de imágenes de las respuestas ideales de los doce casos de prueba:

Clase	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	Porcentaje
C1	4	1											80%
C2		2								1		2	40%
C3			4						1				80%
C4				4	1								80%
C5					5								100%
C6						5							100%
C7						1	4						80%
C8								4		1			80%
C9									5				100%
C10										4	1		80%
C11										2	3		60%
C12										1		4	80%
													80%

Tabla 20. Matriz de Confusión.

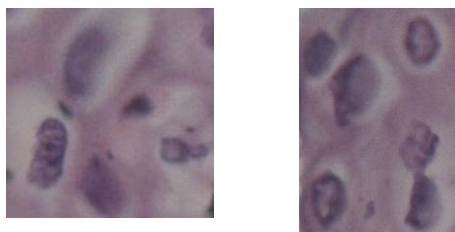
Porcentaje de precisión de recuperación: 80%.

Los resultados obtenidos en la evaluación y la matriz confusión fueron agrupados en la Tabla 21.

Imagen de Prueba	Umbral	Aciertos	Errores	%
1	78,3965284	4	1	80,00
2	76,7736874	2	3	40,00
3	74,9652291	4	1	80,00
4	76,9184619	4	1	80,00
5	78,6174554	5	0	100,00
6	82,0147786	5	0	100,00
7	78,0132413	4	1	80,00
8	77,2385451	4	1	80,00
9	79,6524922	5	0	100,00
10	80,8626357	4	1	80,00
11	81,4717743	3	2	60,00
12	79,1513342	4	1	80,00
Promedio %				80,00

Tabla 21. Resultados de la evaluación.

De donde a partir de la evaluación realizada se puede concluir que la precisión promedio de recuperación de la prueba es de un 80%, aunque es importante tener en cuenta que en el caso de la región de prueba número 2 en donde se presenta un desempeño del prototipo de un 40% afectando negativamente el promedio de exactitud del prototipo, se logró observar que dicho desempeño se debió a que los núcleos y la estructura celular en general de las células contenidas en la región de prueba y el conjunto regiones de respuesta ideal no se encuentran bien definidas, debido a que durante el proceso de digitalización de la biopsia no se garantizó que la configuración del microscopio fuera la ideal para resaltar las texturas de los tejidos, a continuación en la Figura 42 se muestra la imagen de prueba número 2 y una de sus regiones similares, por lo que se concluye que el proceso de digitalización de las biopsias de cuello uterino debe garantizar que el resultado sean imágenes que reflejen claramente las estructuras celulares y de esta manera se puede mejorar el desempeño de la recuperación por contenido implementada en el prototipo.



FUENTE: Las imágenes corresponden a una placa de biopsia de cuello Uterino de la Compañía de Patólogos del Cauca, fue digitalizada en el Laboratorio de Microscopía de la Universidad del Cauca.

Figura 42. Imagen de prueba 2 junto a una imagen similar.

En las pruebas realizadas con las regiones de prueba 1 y 12 se pudo observar que dentro de los primeros 5 resultados proporcionados por el prototipo, 4 de ellos pertenecían al conjunto de respuesta deseada y la quinta imagen perteneciente a ese mismo conjunto se ubicaba como el resultado número 6 de la respuesta proporcionada por el prototipo, adicionalmente se pudo observar que la imagen brindada por el prototipo en su respuesta y que no pertenecía al conjunto de la respuesta ideal, visualmente también presentaba algunos rasgos en las estructuras celulares que aprueban patológicamente la presencia de ésta en la respuesta brindada por el prototipo. Una situación similar se presenta para el caso de prueba número 11, a continuación en la figura 43 se muestra la región de prueba número 11 y junto a una imagen que inicialmente fue considerada como mal recuperada por no pertenecer al conjunto de imágenes de la respuesta ideal.

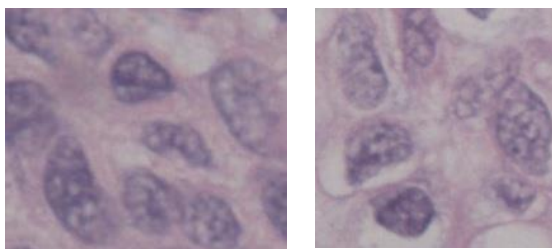


Figura 43. Imágenes en las que se confundió el prototipo.

Finalmente, la evaluación realizada permitió establecer que según las respuestas brindadas por el prototipo para los 12 casos de prueba evaluados, el umbral mínimo de similaridad definido a partir de las similaridades encontradas en los primeros 5 resultados de las 12 consultas realizadas es aproximadamente del 75%, mientras que el umbral máximo de similaridad encontrado para la imagen con mayor grado de similaridad en las consultas de prueba es de aproximadamente del 89%, teniendo así que la exactitud de recuperación del prototipo es de un 80% y el rango de similaridad encontrado en la evaluación para dicho porcentaje es de un 75 a 89%. Adicionalmente, es importante aclarar que la base de datos fue construida con la digitalización de biopsias de cuello uterino infectadas con VPH que presentan los diferentes tipos de alteraciones descritas por los criterios de Toki, con lo que se concluye que la recuperación implementada en el prototipo permite diferenciar tejidos infectados con VPH a partir de las diferentes alteraciones que se produzcan y que alteren las texturas del tejido.

En los antecedentes en donde se evalúa la capacidad de discriminación de características extraídas de imágenes digitales encontramos que en (Caicedo J. C., González, Romero, & Sánchez, 2007) se encuentran porcentajes de desempeño desde el 60% hasta aproximadamente 80%, en (Lehmann T. M., 2005) se encuentran desempeños superiores al 71% para los diferentes extractores de características empleados, en (Shyu, Brodley, Kak, & Kosaka, 1999) se obtienen porcentajes de desempeño que oscilan entre 70% y 85% para las algunas de las evaluaciones realizadas, en (Jaramillo & Bedoya, 2008) se encuentra un desempeño aproximado al 70%, por lo que se puede concluir que el desempeño ofrecido por el prototipo

PROTOTIPO DE SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE IMÁGENES MICROSCÓPICAS BASADA EN CONTENIDO VISUAL PARA EL ASESORAMIENTO DEL DIAGNÓSTICO DE CONDILOMA PLANO VIRAL

construido es aceptable comparándolo con algunos antecedentes nacionales e internacionales.

6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

6.1. CONCLUSIONES

- Se obtuvo un conjunto de propiedades visuales capaces de discriminar las texturas presentes en las imágenes digitales de biopsias de cuello uterino, a partir del cálculo de la Matriz de Coocurrencia sobre las imágenes generadas de las mismas (imágenes filtradas y texturas de Tamura) y sobre los coeficientes de la Transformada Discreta de Wavelets calculados.
- Las modificaciones y ajustes realizados a los algoritmos de filtrado, extracción de características y métricas de similitud, permitieron la recuperación de imágenes digitales de biopsias de cuello uterino con tejidos infectados con VPH y diferenciarlos entre ellos, considerando que todas las imágenes de la base de datos contienen tejidos que presentan alguna o algunas de las alteraciones definidas por los criterios de Toki que determinan la ausencia o presencia de VPH.
- En las pruebas realizadas la distancia de Manhattan resultó ser la función de similaridad con mejor desempeño en la recuperación de imágenes digitales de biopsias de cuello uterino a partir de la comparación realizada con otras medidas evaluadas como la Distancia Euclidiana, y Distancia de Chevishev.
- A través de la arquitectura N-Capas Orientada al Dominio definida para la construcción del prototipo, se modeló de manera aislada la lógica de un sistema CBIR, incluyendo los principales componentes de la arquitectura de Bertino en el Modulo CBIR de la capa del dominio, encapsulando así la complejidad de los sistemas CBIR en entidades del dominio, entidades no continuas y servicios del dominio que aíslan la lógica del resto de la aplicación y garantizan facilidad de mantenimiento y extensibilidad.
- Se diseñó e implementó un prototipo software para soportar la recuperación basada en contenido mediante una imagen digital de ejemplo de biopsias de cuello uterino, empleando técnicas de visión por computador que representan visualmente a las imágenes de la base de datos y que permiten medir su grado de similaridad a través de funciones de similitud.
- La evaluación realizada al prototipo demostró que las técnicas de extracción de características implementadas son independientes del tamaño de las imágenes, de las condiciones iniciales de las placas de las biopsias de Cuello Uterino y de las configuraciones del microscopio óptico empleado para la captura de las imágenes, debido a que las características extraídas permiten comparar imágenes con base en la información de las texturas presentes en la imagen.

- El desempeño en la recuperación por contenido del prototipo depende fundamentalmente de la buena combinación que se logró entre la caracterización realizada de las imágenes digitales y la función de similaridad que evalúa dichas características. Para el presente proyecto según las pruebas realizadas la precisión de recuperación promedio fue del 80%.

6.2. RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- Para aumentar la confiabilidad del resultado del desempeño obtenido en la recuperación del prototipo software, es necesario incrementar el tamaño de la base de datos de imágenes de prueba y probarlo con varios patólogos que permitan verificar la ayuda que ofrece el prototipo en el diagnóstico de imágenes digitales de biopsias de cuello uterino a los especialistas en Patología.
- Dada la arquitectura planteada para el prototipo software, que soporta futuras ampliaciones, se recomienda evaluar otros extractores buscando encontrar la mejor descripción visual que se puede obtener de una imagen digital de biopsia de cuello uterino, también es importante considerar la implementación de nuevos extractores para soportar recuperación de otro tipo de imágenes digitales, es decir, soportar recuperación por contenido para nuevas bases de datos y realizar la caracterización específica, ya que dependiendo el contenido de las imágenes se realiza su descripción visual.
- Implementar la retroalimentación en la búsqueda por contenido visual con el objetivo que el usuario pueda refinar los resultados de una consulta, por otra parte implementar la segmentación automática de regiones de interés en donde se presenten las alteraciones que determinan la presencia de VPH, y finalmente, registrar e incluir la información clínica del paciente para evaluar la similaridad de casos clínicos a partir de la similitud de las imágenes y otros datos del paciente.

BIBLIOGRAFÍA

IEEE Standard for Software Test Documentation. (1998). *IEEE 829*.

(2010). *Manual de Patología Cervical*. Popayán: Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad del Cauca.

Acuna, E. (2002). Unsupervised classification, Clustering. Mayaguez, Puerto Rico. Retrieved 04 25, 2011, from University of Puerto Rico

Antani, S., R., K., & R., J. (2002). A survey on the use of pattern recognition methods for abstraction, indexing and retrieval of images and video. *Pattern Recognition*, n. 35, 945-965.

Bach, J., Fuller, C., Gupta, A., Hampapur, A., & Goro, B. (1996). Virage image search engine: an open framework for image management. In *Proceedings of the SPIE, Storage and Retrieval for Image and Video Databases IV*, 76-87.

Barreno, J. (2008). *Análisis de Datos mediante Weka*.

Bertino, E., Ooi, B., Sacks-Davis, R., Zobel, J., & Catania, B. (1997). Indexing Techniques for advanced. *Kluwer Academic*.

Busch, A. (2004). *Wavelet Transform for Texture Analysis With Application to Document Analysis*. Queensland University of Technology.

Busch, A. W. (2004). *Wavelets Transform for Texture ANalysis with Application to Document Analysis*. PhD Thesis.

Caicedo Rueda, J. C. (2008). Extracción de Características para Recuperación de Imágenes por Contenido.

Caicedo, J. C., González, F., Romero, E., & Sánchez, Y. (2007). Evaluación de Características de Bajo Nivel para Recuperación de Imágenes de Histología por Contenido. *Congreso Colombiano de Computación - CCC 2007*.

Caicedo, J., González, F., & Romero, E. (2007). *Prototipo de Sistema para Almacenamiento y Recuperación por Contenido en Imágenes Médicas de Histopatología*.

Caicedo, J., Romero, E., & González., F. (2007). Recuperación de Imágenes Médicas por Contenido: arquitectura, técnicas y aproximaciones. *Tendencias en ingeniería de software e inteligencia artificial*. .

Caicedo. A, J. (2008). *Prototype System to Archive and Retrieve Histopathology Images by Content*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Camargo, J., & González., F. (2009). Visualization, Summarization and Exploration of Large Collections of Images: State Of The Art. *LatinAmerican Conference On Networked and Electronic Media*.

- Camargo, J., J.Caicedo, & F.González.. (2009). Kernel-Based Visualization of Large Collections of Medical Images Involving Domain Knowledge. *XCongresoInteracción Persona– Ordenador*.
- Carvajal, R. G. (2009). *Compresión selectiva en imágenes digitales de microscopio en patología*”. Bogotá, Colombia: M.C tesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Chang, W., Murthy, D., Zhang, A., & Syeda-Mahmood, T. (1998). Global Integration of Visual Databases”. *IEEE International Conference on Data Engineering*.
- Crovetto, P., Palomino, D., & Cortijo, S. (2010). RECONOCIMIENTO DE PATRONES FACIALES EN TIEMPO REAL MEDIANTE TRANSFORMADA DE WAVELET Y COMPUTACIÓN PARALELA. *Concurso de Proyectos - INTERCON - 2010*.
- de la Torre Llorente, C., Zorrilla Castro, U., Ramos Barroso, M., & Calvarro Nelson, J. (2012). *Guía Arquitectura N-Capas DDD NET.4*. Madrid, España: Krasis Press.
- de la Torre Llorente, C., Zorrilla Castro, U., Ramos Barroso, M., & Calvarro Nelson, J. (2012). *Guía Arquitectura N-Capas DDD NET.4*. Madrid, España: Krasis Press.
- Díaz, J., Gallego, B., & León., A. (2006). El diagnóstico médico: bases y procedimientos. *Revista Cubana de Medicina General*, 22(1).
- Díaz, J., Gallego, B., & Leon, A. (2006). El diagnóstico médico: bases y procedimientos. *RevistaCubana de Medicina General.*, 22(1).
- Dudoit, S., & Getleman, R. (2002). Distance and expression measures. *class notes for Bioconductor short course*.
- Flickner, M., Sawhney, H., Niblack, W., Ashley, J., Huang, Q., Dom, B., et al. (1995). Query by image and video content: The QBIC system. *IEEE Computer Society Bulletin of the Technical Committee on Data Engineering*.
- Gutiérrez Carvajal, R. (2009). *Compresión selectiva en imágenes digitales de microscopio en patología*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Henao, A. (2004). Compresión de imágenes usando la transformada de wavelet y el algoritmo de Huffman.
- Hong, M., Kai Choy, S., & Zhang, H. (2006). Compresión de imágenes usando la transformada de wavelet y el algoritmo de Huffman. *IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING*,, 15(10).
- Howarth, P. (2007). *Discovering images: features, similarities and subspaces*. London.
- Howarth, P., & Ruger, S. (2005). Robust texture features for still-image retrieval. *RECENT ADVANCES IN IMAGE AND VIDEO RETRIEVAL. IEE Proceedings online no. 20045185*.
- Howarth, P., Yavlinsky, A., Heesch, D., & Ruger, S. (n.d.). Visual Features for Content-based Medical Image Retrieval.

PROTOTIPO DE SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE IMÁGENES MICROSCÓPICAS BASADA EN CONTENIDO VISUAL PARA EL ASESORAMIENTO DEL DIAGNÓSTICO DE CONDILOMA PLANO VIRAL

- Huang, P., & Dai, S. (2003). Image retrieval by texture similarity. *Pattern Recognition*, 665-679.
- Jaramillo, J., & Bedoya, B. (2008). DORIS: Sistema para la recuperación de imágenes de piezas Mecánicas y de Automatización Utilizando Descriptores de Textura. *Revisita Avances en Sistemas e Informática*.
- Kruchten, P. (2000). *The Rational Unified Process an Introduction*. Addison-Wesley, second edition.
- La Serna Palomino, N., & Alvarado Ramírez, L. (2010, Abril). Recuperación de imágenes basado en contenido (CBIR): Técnicas de representación visual actuales y Aplicaciones. *Revista de Ingeniería Informática PUCP*, 1 (1), 43-54.
- Lehmann, T. M. (2005). Automatic categorization of medical images for content-based retrieval and data mining. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 29.
- Lehmann, T., Güld, M., Thies, C., Fischer, B., & Spi, K. (2003). The Irma Project, a state of the art report on content-based image retrieval in medical applications. Proceedings 7th Korea-Germany Joint Workshop on Advanced Medical Image Processing. 161-171.
- Lehmann, T. M. (2005). Automatic categorization of medical images for content-based retrieval and data mining. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 29.
- León Rojas, J. M. (2003). *Juicios por comparación, inferencias lingüísticas y actos de decisión en sistemas de representación de conocimiento efectivamente computables basados en unidades vagamente perfiladas*. (J. M. León Rojas, Ed.) Cáceres, España: Universidad de Extremadura - Departamento de Matemáticas.
- Loaiza, H., & Millán, M. (2004). *Sistema de Diagnósticos e Imágenes Médicas Mediante Web – Informe Final, Grupos PSI y GED*. Cali: Universidad del Valle.
- Long, L. R., & Antani, S. K. (2005). Image informatics at a national research center. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 29.
- Long, L. R., & Antani, S. K. (2005). Image informatics at a national research center. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 29.
- Ma, W. (1997). *NETRA: A Toolbox for Navigating Large Image Databases*. Santa Barbara: University of California.
- Maldonado Bautista, J. O. (2008). *Estudio de métodos de indexación y recuperación en bases de datos de imágenes*. San Sebastián: Universidad del País Vasco.
- Martí, J., Frexenet, J., Raba, D., Bosch, A., & Pont, J. (2004). HRIMAC – Una Herramienta de Recuperación de imágenes mamográficas por análisis de contenido para el asesoramiento en el diagnóstico del cáncer de mama.
- Mery, D. (2006). *Extracción de Características*. Universidad de Chile.
- Ministerio de Salud, C. (2008). *Guía Clínica Cáncer Cervicouterino, Reforma de Salud*.

PROTOTIPO DE SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE IMÁGENES MICROSCÓPICAS BASADA EN CONTENIDO VISUAL PARA EL ASESORAMIENTO DEL DIAGNÓSTICO DE CONDILOMA PLANO VIRAL

- Moses, A., & Robert, K. (1989). Textural features corresponding to textural. *IEEE Transactions on systems, man, and Cybernetics*, (p. 19).
- MSD, P. (2011). Infección por Virus del Papiloma Humano. *Portal MSD estar bien. Disponible Online* <http://www.msd.com.ar/msdar/patients/cancer/infeccionporvph.html>. Consultado Octubre 31 de 2011.
- Müller, H. (2004). A reference data set for the evaluation of medical image retrieval systems. *Computerized Medical Imaging and Graphics*.
- Muller, H. (2004, February). A review of content based image retrieval systems in medical applications clinical benefits and future directions. *International Journal of Medical Informatics,, vol. 73*.
- Müller, H. (2004). Comparing features sets for content-based image retrieval in a medical-case database. . *Medical Imaging*.
- Muños Arcos, K. (2006). Identificación de células displásicas en el epitelio vaginal. *Umbral Científico*.
- Narvez Espinoza, F. R. (2010). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- P, M. H., Tong, C. S., Choy, S. K., & Zhang, H. (2006). A Fast and Effective Model for Wavelet Subband Histograms and Its Application in Texture Image Retrieval. *IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING*.
- Presutti, M. (2004). LA MATRIZ DE CO-OCURRENCIA EN LA CLASIFICACIÓN MULTIESPECTRAL: TUTORIAL PARA LA ENSEÑANZA DE MEDIDAS TEXTURALES EN CURSOS DE GRADO UNIVERSITARIO. *4ª Jornada de Educação em Sensoriamento Remoto no Âmbito do Mercosul*.
- Profamilia. (2011). Cáncer de Cuello Uterino. *Página Profamilia. Disponible Online* http://www.profamilia.org.co/index.php?view=category&cid=15%3Acancer-de-cuello-uterino&option=com_quickfaq. Consultado Octubre 31 de 2011.
- Profamilia. (2011). Ciclo de vida del VPH. *Disponible Online* http://www.profamilia.org.co/index.php?view=items&cid=15%3Acancer-de-cuello-uterino&id=296%3Ai-cual-es-la-diferencia-entre-vph-y-cancer-de-cuello-uterino-&option=com_quickfaq. Consultado Octubre 31 de 2011.
- Profamilia. (2011). Virus del Papiloma Humano. *Disponible Online* http://www.profamilia.org.co/index.php?view=category&cid=18%3Avirus-del-papiloma-humano&option=com_quickfaq. Consultado Octubre 31 de 2011. Consultado Octubre 31 de 2011.
- R. Llobet A, J. P. (2006, Abril). Técnicas de reconocimiento de formas aplicadas al diagnóstico de cáncer asistido por ordenador. *Revista Salud*, 2 (7).

PROTOTIPO DE SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE IMÁGENES MICROSCÓPICAS BASADA EN CONTENIDO VISUAL PARA EL ASESORAMIENTO DEL DIAGNÓSTICO DE CONDILOMA PLANO VIRAL

- Romero, E., González, F. A., Sánchez, Y., & Caicedo, J. C. (2007). Evaluación de Características de Bajo Nivel para Recuperación de Imágenes de Histología por Contenido. *Congreso Colombiano de Computación - CCC 2007*.
- Santini, R. J., & Gupta., A. (2000). Content based image retrieval at the end of the early years. Tech rep. *Intelligent Sensory Information Systems*.
- Shyu, C.-R., Brodley, C. E., Kak, A. C., & Kosaka, A. (1999). ASSERT: A Physician-in-the-Loop Content-Based Retrieval System for HRCT Image Databases. *Computer Vision and Image Understanding*, 75(1/2), 111-132.
- Sossa Mendoza, Y. F. (2001). *CARACTERIZACIÓN DE CÉLULAS DEL EPITELIO ESCAMOSO DEL*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia sede Manizales.
- Tamura, S. M., & Yamawaki, T. (1978). Textural features correponding to visual perception. *Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 446-455.
- Yang., C. C. (2004). Content-based image retrieval: a comparison between query by example and image browsing map approaches. *Journal of Information Science*, 254-267.