



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

TESIS DE DOCTOR EN INGENIERIA

**SISTEMAS DE VISIÓN INTELIGENTE PARA MONITOREO
AMBIENTAL EN ESTACIONES REMOTAS**

NATALIA VERÓNICA REVOLLO SARMIENTO

DIRECTORES: DR. CLAUDIO A. DELRIEUX
DR. GERARDO M. E. PERILLO

BAHIA BLANCA

ARGENTINA

2012

Prefacio

Esta Tesis es presentada como parte de los requisitos para optar al grado académico de Doctor en Ingeniería, de la Universidad Nacional del Sur, y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otras. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el Instituto Argentino de Oceanografía, durante el período comprendido entre el día 22 de Abril de 2008 y el 5 de Octubre de de 2012, bajo la dirección del Dr. Claudio A. Delrieux, Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Computadoras y el Dr. Gerardo M. Perillo Investigador Superior de CONICET del Instituto Argentino de Oceanografía y Profesor Titular del Departamento de Geología.

Natalia Verónica Revollo Sarmiento

nrevollo@criba.edu.ar.com

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y DE COMPUTADORAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

Bahía Blanca, 05/10/2012.

	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR Secretaría General de Posgrado y Educación Continua</p> <p>La presente tesis ha sido aprobada el .../.../..... , mereciendo la calificación de(.....)</p>
---	---

A Rosario y Jesús

Agradecimientos

A mis directores: Dr. Claudio Delrieux y Dr. Gerardo Perillo por brindarme la oportunidad de realizar el doctorado, por su orientación y constante apoyo durante este tiempo de formación.

Al CONICET y a la Universidad Nacional de Jujuy por permitirme efectuar mis estudios de posgrado.

A mis padres por guiarme, por sus consejos, ayuda y compañía en cada momento de mi vida. A mis hermanos: Paola, Elsa y Jonatan, gracias por ser simplemente como son.

A Noelia, por estar en los buenos y malos momentos de mi vida, por las palabras justas en el momento indicado.

A Carlos por sus consejos, aliento, compañía y en especial por su amistad.

A mis compañeros de la Universidad Nacional de Jujuy, de la Universidad Nacional del Sur y del Instituto Argentino de Oceanografía.

A todas aquellas personas que desinteresadamente colaboraron para la realización de este trabajo.

Resumen

La información relacionada con los procesos geomorfológicos y dinámicos de la costa es de fundamental importancia en estudios científicos y ambientales necesarios para establecer políticas de gestión costera. Las playas son ambientes inestables que presentan cambios continuos debido a diferentes fenómenos. También las personas, a través de diferentes mecanismos, ejercen un efecto sobre estos ambientes. Los mismos deben ser estudiados en períodos continuos, para lo cual es útil disponer de información generada automáticamente sin necesidad de recolectarla *in situ*.

Si bien el procesamiento digital de imágenes es relativamente nuevo en monitoreo costero, su aplicación en otras disciplinas demuestra las ventajas de su utilización, favorecida por el avance tecnológico en las herramientas de procesamiento. El objetivo general de esta investigación es desarrollar nuevas técnicas y metodologías para la extracción de características de la playa basadas en procesamiento digital de imágenes factibles de ser integradas en un sistema visual de monitoreo costero.

En primera instancia se desarrolló una metodología para la adquisición de información a partir de la captura de videos que permite almacenar datos de la playa durante un período específico. El principal resultado de este desarrollo es la obtención de información cualitativa del estado de la playa en forma automática, mediante la generación de una imagen media y de varianza. A partir de ella se pueden distinguir y documentar algunas características de la playa.

Luego se implementaron las herramientas para la extracción y medición de la línea de ribera en imágenes medias. En primer lugar, la diferenciación de zonas de agua y tierra

es posible mediante un algoritmo de clasificación a partir de un conjunto de patrones representativos de cada una de ellas. Seguidamente se realizó la medición de la longitud de la línea de ribera.

Otro de los resultados obtenidos comprendió la clasificación de zonas de la playa. El método empleado se basa en la elección de grupos de píxeles prototipos que sirven como modelo de cada una de las zonas. Además de la clasificación, se logró obtener las mediciones de las áreas y perfiles de cada zona, tanto en forma porcentual en el plano de la imagen como en forma cuantitativa en unidades reales sobre el terreno. El algoritmo trabaja bajo diferentes condiciones meteorológicas y técnicas.

En este sentido, el método desarrollado representa un avance importante en la detección y medición automática de zonas de playa. Por otro lado, se abordó la estimación de la cantidad de personas en la playa. Inicialmente se trabajó sobre imágenes medias, en las cuales únicamente se pueden observar aquellos usuarios que permanecieron en ubicaciones fijas durante el tiempo de grabación. Debido al interés actual sobre la detección de personas en zonas costeras se trabajó sobre imágenes instantáneas de cámaras de alta resolución, provistas por cortesía del proyecto HORUS obteniéndose resultados significativos sobre la información de ocupación de los usuarios en la playa como así también su desplazamiento en la misma.

En la etapa final de la tesis, la información obtenida mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes fue integrada en un Sistema de Información Geográfico. Sobre dicho sistema se presentó un ejemplo de aplicación de las metodologías para la generación de modelos del comportamiento de la playa. De esta manera, las características extraídas a partir de imágenes pueden ser georreferenciadas, almacenadas en una base de datos o comparadas con información proveniente de otras fuentes. A modo global, se concluyó la generación de herramientas basadas en visión por computadora que permiten el análisis cualitativo y la medición cuantitativa de diversas características de la playa.

Abstract

Geomorphological and dynamic information of coastal processes is very important in scientific and environmental studies and also for coastal management policies. Beaches are unstable environments, which have continuous changes due to different phenomena. Also, people through diverse mechanisms have a significant effect. The assessment of changes in these environments should be studied continuously and for long periods. For this reason, it is useful to have information that is generated automatically.

While digital image processing is relatively new in coastal monitoring applications, the advantages of its use has been largely taken in other disciplines, geared by technological advances in processing tools. The objective of this dissertation is to develop new techniques and methodologies for feature extraction and recognition in digital images and videos from beach environments, and to integrate those tools into a video-based coastal monitoring system.

First, a methodology was developed for video capture that allows storing data from the beach during a specific period. The main result of this development is to obtain qualitative information, for instance, the mean and variance image, of the state of the beach in an automatically way.

Then, tools for automatic extraction and measurement of shoreline in mean images were implemented. The differentiation of land and water areas was possible using a classification algorithm from a set of patterns. Based on this technique, the length of the shoreline was measured automatically.

Another results involved the classification of the zones of the beach. The method is based on the choice of prototypes pixel groups of each zone. Furthermore, it was possible to obtain measurements of areas and profiles for each zone. The algorithm works in different weather and operational conditions. For this reason, the method represents a significant advance in the automatic detection and measurement of beach zones.

Furthermore, algorithms for estimating the number of people on the beach was estimated were developed. Initially, the method was applied on mean images in which only those users that remained at a fixed location during the recording time can be analyzed. Also, the algorithm was tested using high-resolution cameras, provided by the HORUS project.

In the final stage of this dissertation, the information obtained through techniques of digital image processing was integrated into a Geographic Information System. An example of an application of methodologies for the generation of behavioral models from the beach was implemented in the GIS. Thus, the extracted features from the images can be geo-referenced, stored in a database and compared with information from other sources. This thesis concluded with the generation of tools based in computer vision that allows a qualitative analysis and a quantitative measurement of diverse characteristics of the beach.

Índice general

Resumen	v
1. Introducción	1
2. Obtención de Datos en Zonas Costeras	8
2.1. Adquisición de Datos	8
2.2. Imagen Media y de Varianza	11
2.3. Transformación Proyectiva Bidimensional	13
2.4. Rectificación de Imagen	14
3. Detección de la Línea de Ribera	17
3.1. Antecedentes	17
3.2. Segmentación de la Interacción Mar y Tierra	19
3.2.1. Modelo de Color RGB e YIQ	19
3.2.2. Operador de Distancia	21
3.2.3. Método de Umbralización	22
3.2.4. Aplicación de la Metodología para la Segmentación	23
3.3. Extracción y Medición de la Línea de Ribera	27
3.3.1. Operaciones Morfológicas	27
3.3.2. Métodos de Representación de Bordes	28
3.3.3. Aplicación de la Metodología de Extracción de Bordes	33

4. Clasificación y Medición de Zonas de Playa	36
4.1. Antecedentes	36
4.2. Pre-Segmentación con el Algoritmo <i>Mean Shift</i>	41
4.3. Clasificación de Zonas	46
4.3.1. Caracterización de las Clases a través de Prototipos	46
4.3.2. Descripción de las Clases	47
4.3.3. Cálculo de un Prototipo por Área	49
4.3.4. Clasificación por Distancia Mínima	49
4.4. Medición de las Zonas de Playa	51
4.4.1. Detección de Contornos	51
4.4.2. Medición de Ancho y Áreas de Playa	56
5. Clasificación de Usuarios de Playa	58
5.1. Antecedentes	58
5.2. Segmentación no Supervisada de Usuarios de Playa	61
5.2.1. Algoritmos de Agrupamiento	61
5.2.2. Aplicación a Imágenes de Playa	63
5.3. Segmentación Supervisada de Usuarios de Playa	66
5.4. Determinación de la Cantidad de Personas en la Playa	69
6. Resultados	74
6.1. Zona de Estudio	74
6.2. Imágenes Medias	78
6.3. Detección de la Línea de Ribera	91
6.4. Clasificación y Medición de Zonas de Playa	98
6.5. Clasificación de Usuarios en la Playa	109
6.6. Integración de los Resultados en un Sistema de Información Geográfico . .	118
7. Conclusiones	127

Índice de figuras

2.1. Sistema de adquisición de datos.	9
2.2. Ubicación del área de estudio dentro del suroeste bonaerense.	10
2.3. Imagen instantánea del estado de la costa del balneario Monte Hermoso al inicio de grabación.	10
2.4. Imagen media de la zona de estudio del balneario Monte Hermoso correspondiente al día 27-04-2010 durante pleamar.	12
2.5. Imagen varianza de la zona de estudio del balneario Monte Hermoso correspondiente al día 27-04-2010 durante pleamar.	13
2.6. Rectificación de la imagen media.	15
2.7. Imagen rectificada de una imagen media oblicua a partir de la transformación proyectiva bidimensional.	16
3.1. Estándar CIE. Diagrama de cromaticidad.	19
3.2. Espacio de color RGB.	20
3.3. Esquema de procesamiento para la segmentación.	24
3.4. Etapa de pre-procesamiento.	25
3.5. Clasificación Mono-distancia.	26
3.6. Imagen de la playa de Monte Hermoso segmentada por el método de umbral.	26
3.7. Freeman Chain Code.	29
3.8. Algoritmo Teh Chin Chain.	31
3.9. Bit Quad.	32

3.10. Filtros morfológicos aplicados sobre la imagen segmentada.	34
3.11. Línea de ribera hallada superpuesta sobre la imagen original correspondiente a la playa de Monte Hermoso.	35
3.12. Segmentación manual de la línea de ribera del balneario Monte Hermoso en formato vectorial.	35
4.1. Contaminación de la playa causada por personas en la ciudad de Mar del Plata, Argentina.	37
4.2. Pérdidas económicas y humanas causadas por un Tsunami en Japón.	37
4.3. Perfil transversal de una playa típica.	39
4.4. Zonas de playa en el balneario de Monte Hermoso correspondientes al día 07-09-2009.	41
4.5. Aplicación del algoritmo <i>Mean Shift</i> en imágenes medias de la playa de Pehuén Co.	44
4.6. Histograma de las imágenes de la Figura 4.5.	45
4.7. Grupos de píxeles prototipos de la playa de Monte Hermoso.	47
4.8. Distribución de los valores radiométricos de cada grupo prototipo.	48
4.9. Clasificación de las zonas de playa del balneario Monte Hermoso utilizando el Método de Distancia Mínima Euclídea	50
4.10. Descomposición de la imagen clasificada del balneario de Monte Hermoso en diferentes grupos que representan cada zona.	52
4.11. Estimación de bordes de cada grupo.	52
4.12. Corrección de la imagen segmentada de las zonas de playa del balneario de Monte Hermoso.	54
4.13. Imagen clasificada de las zonas de la playa después de aplicar la metodología propuesta	55
4.14. Perfiles de playa del balneario de Monte Hermoso.	57

5.1. Criterios de ocupación de la zona de exposición solar para tres condiciones: intensiva, media y baja.	60
5.2. Imágenes de prueba para la detección de usuarios.	62
5.3. Selección de área de interés en imagen media para la segmentación de personas en la playa de Monte Hermoso.	63
5.4. Selección de área de interés en imagen instantánea para la segmentación de personas en la playa de La Magdalena.	64
5.5. Segmentación de personas en una imagen instantánea con el algoritmo <i>K-</i> <i>means</i>	65
5.6. Segmentación de personas con el algoritmo <i>K-means</i> en una imagen media	66
5.7. Selección de grupos de píxeles prototipos para la segmentación de personas.	66
5.8. Segmentación de personas en una imagen instantánea con el algoritmo de grupos de píxeles prototipos	67
5.9. Segmentación de personas en una imagen media con el algoritmo de grupos de píxeles prototipos	68
5.10. Zonas espurias después de la segmentación.	69
5.11. Filtrado de imágenes medias e instantáneas.	71
5.12. Segmentación de personas con el algoritmo propuesto en una imagen ins- tantánea de la playa La Magdalena.	72
5.13. Segmentación de personas con el algoritmo propuesto en una imagen media correspondiente al balneario de Monte Hermoso.	73
6.1. Vista panorámica de la playa de Monte Hermoso obtenida desde el edificio en donde se ubicó la cámara	75
6.2. Vista panorámica de la playa de Pehuén Co adquirida desde el edificio donde se ubicó la cámara.	77
6.3. Ubicación de las cámaras de videos en los edificios seleccionados.	78
6.4. Diferentes formas de la línea de ribera causadas principalmente por ondas de borde.	80

6.5. Ejemplos de las características de la playa identificadas en las imágenes medias analizadas.	81
6.6. Ejemplos de imágenes medias donde se observan afloramiento de rocas. . .	83
6.7. Variación de la playa de Monte Hermoso durante el día 07-09-2009.	85
6.8. Variación de la playa de Monte Hermoso durante el día 26-02-2010.	86
6.9. Variación de la playa de Monte Hermoso durante el día 17-04-2010.	87
6.10. Variación de la playa de Monte Hermoso durante el día 06-05-2010.	88
6.11. Variación de la playa de Pehuén Co durante el día 05-02-2011.	89
6.12. Variación de la playa de Pehuén Co durante el día 06-02-2011.	90
6.13. Ejemplos de variación en forma y longitud de la línea de ribera de la playa de Pehuén Co.	92
6.14. Resultado de la digitalización manual en formato vectorial de la línea de ribera.	93
6.15. Comparación de valores de longitud de la línea de ribera con diferentes algoritmos de medición.	94
6.16. Ejemplos de la detección de la línea de ribera con superposición en imágenes medias.	95
6.17. Ejemplos de variación en la forma de la línea de ribera correspondiente a la playa de Pehuén Co.	97
6.18. Ejemplo de variación de la longitud de la línea de ribera.	97
6.19. Imágenes del balneario de Monte Hermoso en diferentes condiciones meteorológicas.	98
6.20. Pre-segmentación de las zonas de la playa de Monte Hermoso	101
6.21. Resultados de la clasificación de las zonas de la playa de Monte Hermoso. .	102
6.22. Detalle del resultado de la clasificación de zonas de la playa de Monte Hermoso del día 07-09-2009.	103
6.23. Detalle del resultado de la clasificación de zonas de la playa de Monte Hermoso del día 26-02-2010	104

6.24. Detalle del resultado de la clasificación de zonas de la playa de Monte Hermoso del día 27-04-2010.	105
6.25. Detalle del resultado de la clasificación de zonas de la playa de Monte Hermoso del día 20-05-2010.	106
6.26. Variación de las zonas de playa en función del tiempo para un conjunto de imágenes medias de la playa de Monte Hermoso.	107
6.27. Variación del ancho de las zonas de playa de Monte Hermoso.	108
6.28. Imágenes de personas en la playa.	109
6.29. Clasificación de personas en imágenes medias de la playa de Monte Hermoso.	110
6.30. Clasificación de personas en imágenes instantáneas de la playa La Magdalena, España.	111
6.31. Imágenes medias clasificadas con la metodología de grupos de píxeles prototipos.	113
6.32. Imágenes instantáneas clasificadas con la metodología de grupos de píxeles prototipos.	114
6.33. Detección de personas sobre imágenes instantáneas clasificadas con la metodología de grupos de píxeles prototipos.	115
6.34. Validación de la metodología de detección de usuarios en el balneario Monte Hermoso.	116
6.35. Variación de la cantidad de personas en función del tiempo.	117
6.36. Error porcentual del método automático de identificación de personas.	117
6.37. Plano del balneario Monte Hermoso suministrado por el municipio.	120
6.38. Puntos reales de calibración adquiridos con GPS para la georreferenciación.	120
6.39. Ubicación de la zona de estudio en el plano de la ciudad de Monte Hermoso.	122
6.40. Representación en el SIG de la línea de ribera.	123
6.41. Representación en el SIG de un conjunto de líneas de ribera detectadas en forma automática	124

6.42. Representación en el SIG de las zonas de la playa detectadas en forma automática.	125
6.43. Representación en el SIG de los usuarios detectados en forma automática. .	126

Índice de cuadros

2.1. Coordenadas geográficas de los puntos de control en la imagen.	14
4.1. Valores de áreas de la playa.	56
5.1. Resultado de la segmentación.	70
6.1. Comparación de fotogramas procesados.	79
6.2. Condiciones meteorológicas del día 07-09-2009 en el balneario de Monte Hermoso.	85
6.3. Condiciones meteorológicas del día 26-02-2010 en el balneario de Monte Hermoso.	86
6.4. Condiciones meteorológicas del día 17-04-2010 en el balneario de Monte Hermoso.	87
6.5. Condiciones meteorológicas del día 06-05-2010 en el balneario de Monte Hermoso.	88
6.6. Condiciones meteorológicas del día 05-02-2011 en el balneario de Monte Hermoso.	89
6.7. Condiciones meteorológicas del día 06-02-2011 en el balneario de Monte Hermoso.	90
6.8. Longitud de la línea de ribera obtenida por diferentes métodos de medición.	94
6.9. Error porcentual en estimación de la longitud de la línea de ribera.	96
6.10. Condiciones meteorológicas correspondientes a la Figura 6.19.	99

6.11. Capacidad de carga de la playa de Monte Hermoso de acuerdo a la definición de intensidad de uso de la Norma Cubana para el Ordenamiento de las Áreas de Playa (1988). 121

Capítulo 1

Introducción

La información relacionada con los procesos geomorfológicos y dinámicos de la costa es de fundamental importancia en estudios científicos y ambientales necesarios para establecer políticas de gestión costera. Dichos estudios requieren información continua del estado de la costa en escalas espacio-temporales que pueden abarcar un rango de metros a kilómetros y de días a semanas respectivamente (Holman y Stanley, 2007; Smit et al., 2007).

Los métodos tradicionales de mediciones de olas, perfiles de playa, corrientes o transporte de sedimentos se realizan *in situ*. Esto implica el transporte e instalación de equipos y recursos humanos en cada campaña de medición, lo cual tiene asociado una logística y costos que varían de acuerdo al período y lugar de muestreo. En consecuencia, con los métodos tradicionales es factible satisfacer los requerimientos temporales pero resulta costoso cubrir grandes áreas.

En contraparte, la teledetección por satélites o aviones ha permitido el aumento del tamaño de la zona de estudio a partir de imágenes, con la ventaja de observar regiones de difícil acceso. No obstante, el uso de estas técnicas es limitado debido a su elevado costo en referencia a la calidad de imágenes requeridas (Yatabe y Fabbri, 1986; Schowengerdt, 1997; Girard y Girard, 1999; Lillesand y Kiefer, 2000; Jensen, 2000).

En los últimos años los sistemas basados en cámaras de videos se han presentado como una alternativa en cuanto a la relación costo-prestaciones. La posibilidad de montar cámaras en posiciones fijas ofrece una resolución temporal de mínimas limitaciones, directamente relacionadas con la infraestructura o equipamiento disponible. Sin embargo, estos sistemas no utilizan técnicas de medición directa, por lo que es necesario desarrollar algoritmos automáticos de extracción de información a partir de las imágenes o videos obtenidos.

Existen proyectos a nivel mundial que estudian fenómenos naturales mediante el empleo de video. El proyecto Argus del programa *CoastView* es el pionero en sensado remoto óptico de manejo costero. Este proyecto fue desarrollado por el *Coastal Imaging Laboratory* (CIL) en la universidad de Oregon. Argus permite adquirir datos y brindar información a partir de observaciones de sitios de interés. La historia detrás de Argus se remonta al año 1930, donde se usaron fotografías aéreas para la investigación relacionada con la costa.

A partir del año 1980, el CIL comenzó con el sensado remoto para la medición del recorrido de la ola (*wave runup*) mediante el uso de videos en diferentes períodos como método de muestreo. Las mediciones *in situ* de la dinámica de olas presentaban inconvenientes al momento de realizarse. Esto se debe a que dependían de varios factores como las condiciones de tormenta en la costa, alturas de olas superiores a los 5 m y una zona de *surf* de 1 km de ancho.

Los métodos de medición usuales fueron reemplazados con mediciones basadas en sensores ópticos. De este modo se descubre tempranamente la utilidad de las imágenes *timex*, promedios de varias imágenes. Éstas, a diferencia de la metodología tradicional, permiten observar barras de arena sumergidas o canales. El poder de la técnica *timex* le permitió al CIL desarrollar en 1992 estaciones autónomas para recolectar imágenes en diferentes sitios de interés (Lippmann y Holman, 1989; Holman y Stanley, 2007).

El continuo desarrollo en la tecnología de captura de imágenes y videos digitales, ha permitido un avance importante en el alcance de las aplicaciones de monitoreo ambiental.

El proyecto denominado Inlet Dynamics Initiative: Algarve (INDIA) está encuadrado en el marco de trabajo de la Unión Europea Internacional MAST 3. El mismo estudia la dinámica de boca de marea de Barra Nova en Algarve, Portugal, y sus resultados son mediciones cualitativas y cuantitativas que describen cómo responden los sistemas de boca de marea originados por olas y mareas (Morris et al., 2001).

El proyecto HORUS, desarrollado en conjunto por la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de Cantabria, implementa un conjunto de técnicas para obtener datos cuantitativos de una forma fácil y económica a partir de medidas de corto y largo plazo, sobre imágenes instantáneas o modificadas mediante algún operador matemático o estadístico (Osorio et al., 2012).

Otro experimento en el área de monitoreo costero se lleva a cabo en la Universidad de Tsukuba, Japón, en donde los videos son captados por cuatro cámaras desde un globo aerostático (Takewaka et al., 2003). En Nueva Zelanda el sistema Cam-Era consiste en un número de sitios remotos sobre la costa conectados a una estación base central de procesamiento en Hamilton (Payne, George, 2012).

Si bien el procesamiento digital de imágenes (PDI) es relativamente nuevo en el monitoreo costero, su aplicación en otras disciplinas demuestra las ventajas de su utilización, favorecida por el avance tecnológico en las herramientas de procesamiento. Las técnicas y métodos para mejorar la información visual así como para extraer información de escenas es usada por varios proyectos interdisciplinarios. En medicina, por ejemplo, los procedimientos mejoran el contraste o codifican el nivel de intensidad en colores para interpretar las imágenes de rayos-x. En geografía se usan técnicas similares para estudiar los patrones de contaminación en imágenes aéreas y de satélites. Similarmente aplicaciones exitosas pueden ser encontradas en astronomía, arqueología, física, medicina nuclear entre otras (González y Woods, 1996).

Conceptualmente, el PDI incluye diversas etapas, donde las más críticas son la segmentación y descripción de características. En la segmentación se intenta diferenciar los objetos o zonas de interés, al mismo tiempo que se descartan las regiones de la imagen

que no poseen información útil. En la descripción de características se utilizan técnicas de reconocimiento de patrones y algoritmos de medición con el objetivo de obtener valores cuantitativos que representan adecuadamente a dicho objeto o zona de interés. Para el caso de monitoreo costero, estas etapas resultan críticas ya que las condiciones climatológicas producen variaciones en la calidad de las imágenes adquiridas, lo cual requiere el desarrollo de algoritmos de procesamiento robustos que permitan obtener un sistema a medida.

Las aplicaciones de carácter ambiental más relevantes de monitoreo costero incluyen el estudio de la línea de ribera entre la interacción del mar y tierra, la variación de la geomorfología de playas o estudio de olas. En otro aspecto, la estimación del número de usuarios de playa puede resultar un factor importante en la planificación de políticas de gestión en seguridad, salud y turismo. Sin embargo el análisis de la información proporcionada por las imágenes por parte de expertos en zonas costeras revela diversos fenómenos que aún no han sido estudiados con técnicas de visión por computadora. Entre ellos se puede mencionar la localización de los canales de marea, la identificación de zonas de rompientes, zona de lavado, zona de playa seca, la variación espacial de afloramientos o acumulación de conchillas, entre otros.

El objetivo general de esta tesis consiste en desarrollar nuevas técnicas y metodologías de PDI factibles de ser integradas en un sistema de monitoreo costero. Se proponen los siguientes objetivos particulares para alcanzar este objetivo general:

- Desarrollar una metodología que permita detectar la línea de ribera y su variación en imágenes medias de secuencias de videos.
- Determinar las zonas que conforman la playa mediante el desarrollo de una metodología de clasificación y medición de las mismas.
- Estimar la cantidad de usuarios de playa en videos y secuencias de imágenes.

El desarrollo de la tesis se presenta en los siguientes capítulos:

- Capítulo II: Obtención de Datos en Zonas Costeras: Se describe la estructura básica de una estación de monitoreo costero. Se detalla la metodología de adquisición de datos y la generación de imágenes medias y de varianza.
- Capítulo III: Detección de la Línea de Ribera: Como primer objetivo de la tesis, se desarrollan métodos de clasificación y medición de la línea de interacción entre mar y tierra.
- Capítulo IV: Clasificación y Medición de Zonas de Playa: Se detallan los algoritmos de clasificación empleados para el reconocimiento de las diferentes zonas. La medición comprende la estimación del área de cada zona y el ancho de los perfiles.
- Capítulo V: Clasificación de Usuarios de Playa: Se detalla la metodología de segmentación de usuarios en base a diferentes espacios cromáticos. Se estima el número de personas en imágenes medias e instantáneas.
- Capítulo VI: Resultados: Se presentan los resultados obtenidos en la aplicación de las metodologías propuestas.
- Capítulo VII: Conclusiones: Los aspectos relevantes de la tesis son analizados y se enfatiza el alcance y la aplicabilidad de las herramientas desarrolladas. Se describen las limitaciones de las técnicas propuestas y su utilización en trabajos futuros.

Durante el desarrollo de la tesis se presentaron los resultados parciales en diversas comunicaciones científicas.

Capítulo de libro

- *“Coastal Monitoring and Feature Estimation with Small Format Cameras: Application to the Shoreline of Monte Hermoso, Argentina”*. Natalia V. Revollo, Claudio A. Delrieux, Gerardo M.E. Perillo y Marina P. Cipolletti. ISBN: 978-950-34-0684-7.

Título del libro: “ Computer Science & Technology Series. XV Argentine Congress of Computer Science Selected Papers”. Editorial: edulp. Editores: G. Simari, P. Pesado y J. Paganini. 2010, páginas: 165-174.

Artículos en conferencias

- “*Software de Visión por Computador en Sistemas de Monitoreo Ambiental*”. Natalia V. Revollo, Claudio A. Delrieux y Gerardo M.E. Perillo. ISBN: 978-950-766-082-5. Posadas, Misiones. XIV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación. 2012, páginas: 363-368.
- “*Monitoreo Costero: Análisis de la Cantidad de Usuarios de Playa en Secuencias de Videos mediante Sistemas de Visión*”. Natalia V. Revollo, Claudio A. Delrieux y Gerardo M.E. Perillo. Córdoba. 40 JAIIO 2011 - 12° Argentine Symposium on Technology.
- “*Segmentación y Medición de las Zonas que conforman la Playa en Secuencias de Videos*”. Natalia V. Revollo, Marina P. Cipolletti, Claudio A. Delrieux, Gerardo M.E. Perillo y M. Cintia Piccolo. ISBN: 978-950-34-0652-6. El Calafate, Santa Cruz. XII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación. 2010, páginas: 288–292.
- “*Segmentación Supervisada y No Supervisada de Zonas Costeras en Secuencias de Videos*”. Marina P. Cipolletti, Natalia V. Revollo, Claudio A. Delrieux, Gerardo M.E. Perillo y M.Cintia Piccolo. ISSN: 1850-2806. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. 39 JAIIO 2010 - 11° Argentine Symposium on Technology.
- “*Estimación de características lineales en imágenes de cámaras de pequeño formato: Aplicación a la línea de costera del Balneario de Monte Hermoso*” Natalia V. Revollo, Claudio A. Delrieux, Marina P. Cipolletti y Gerardo M.E. Perillo. Tandil. ECIImag 2009 - 2da Escuela y Workshop de Ciencias de las Imágenes.

- *“Coastal Monitoring and Feature Estimation with Small Format Cameras: Application to the Shoreline of Monte Hermoso, Argentina”*. Natalia V. Revollo, Claudio A. Delrieux, Gerardo M.E. Perillo y Marina P. Cipolletti. ISBN: 978-897-24068-4-1. Jujuy, Argentina. CACIC 2009. Páginas: 615-624.
- *“Rectificación y Estimación de Características Lineales en Imágenes de Cámaras de Pequeño formato: Aplicación a la línea Costera, Monte hermoso”* Natalia V. Revollo, Claudio A. Delrieux, Gerardo M.E. Perillo y Marina P. Cipolletti. “ Libro de resúmenes”, ISBN: 978-987-25479-0-4. VII Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar 2009, Instituto Argentino de Oceanografía (IADO-CONICET). Bahía Blanca, Argentina(10).

Capítulo 2

Obtención de Datos en Zonas Costeras

2.1. Adquisición de Datos

La adquisición de videos se realiza a través de una estación de monitoreo especialmente desarrollada para esta tarea. Consiste en un hardware compuesto por cámaras de video, una laptop convencional y un software de adquisición de datos (Figura 2.1). Inicialmente, se han montado dos de estas estaciones en los balnearios de Monte Hermoso y Pehuén Co, ambos situados al suroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina (Figura 2.2).

Las cámaras son situadas en alturas entre 10 y 30 metros, a una distancia determinada de la costa de acuerdo a la vista panorámica deseada. Los videos digitales se encuentran en formato de *Audio Video Interleave* (AVI) y corresponden a intervalos de tiempo de 2 a 5 minutos con una tasa de grabación de 15 frames por segundo. Para cada video se almacena además su fecha y hora de adquisición, así como una imagen instantánea que representa el estado de la costa al inicio de la grabación (Figura 2.3).

Simultáneamente, las condiciones meteorológicas son tomadas con la estación de monitoreo costero diseñada y desarrollada por el Instituto Argentino de Oceanografía. Esta estación pertenece a la red de Estaciones de Monitoreo Ambiental Costero (EMAC). Los parámetros meteorológicos registrados son: temperatura del aire, humedad, radiación solar, dirección y velocidad del viento.

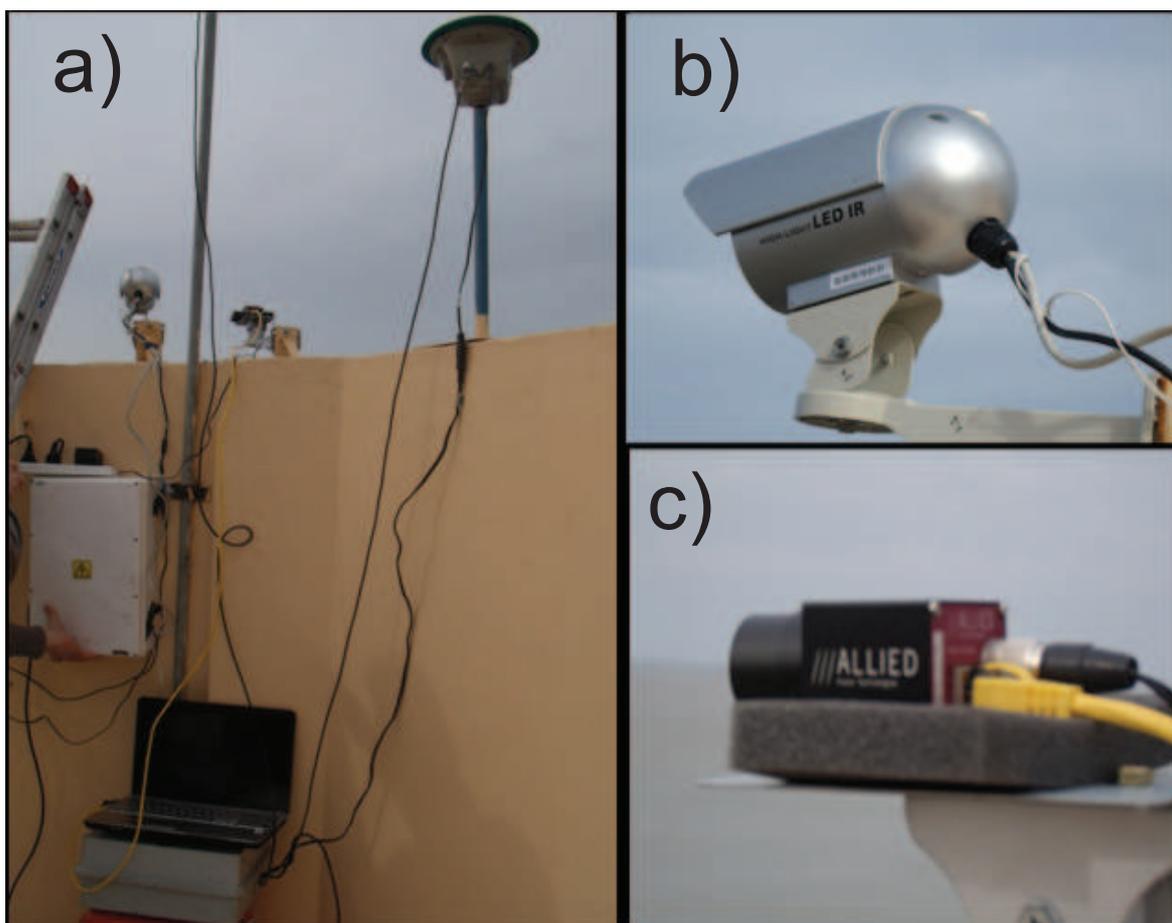


Figura 2.1: Sistema de adquisición de datos. a) Estación de monitoreo compuesta por cámaras de video, laptop convencional y software de adquisición de datos. b) Cámara de video IP con una resolución de 688 x 577 píxeles. c) Cámara de video Gigabit Ethernet monocromática con una resolución de 1280 x 960 píxeles.



Figura 2.2: Ubicación del área de estudio dentro del suroeste bonaerense. Los recuadros en celeste y rojo señalan la localización de los balnearios de Pehuén Co y Monte Hermoso, respectivamente. Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.3: Imagen instantánea del estado de la costa del balneario Monte Hermoso al inicio de grabación. La imagen corresponde al día 27-04-2010 a las 14:00 hs en momento de pleamar.

2.2. Imagen Media y de Varianza

En primer lugar, el procesamiento que permite alcanzar el nivel de avance de otros proyectos de monitoreo costero es la obtención de la imagen media y de varianza. Estas imágenes brindan información cualitativa de la morfología y dinámica de la playa. Para el cálculo de la imagen media se promedian todos los fotogramas que componen cada video, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\overline{(RGB)}_{i,j} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (RGB(n))_{i,j}, \quad (2.1)$$

donde el valor de la imagen media en el pixel de coordenadas $\overline{(RGB)}_{i,j}$ resulta igual a la suma de las intensidades de los canales RGB (*Red-Green-Blue*) en dicho pixel para los N fotogramas que componen cada video, luego dividida en la cantidad total de fotogramas. Por otro lado se calcula la imagen de varianza mediante la ecuación:

$$S^2_{i,j} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N ((RGB(n))_{i,j} - \overline{(RGB(n))}_{i,j})^2, \quad (2.2)$$

donde el valor de la imagen varianza en el pixel de coordenadas (i, j) resulta igual al cuadrado de la resta entre las intensidades de los canales RGB en dicho pixel y su correspondiente valor medio $\overline{(RGB)}_{i,j}$, para los n fotogramas que componen cada video, luego dividida en la cantidad total de fotogramas.

De acuerdo a la duración del video almacenado con 15 frames por segundo, la imagen media (Figura 2.4) y de varianza (Figura 2.5) contienen información de 1800 a 4500 imágenes instantáneas. En particular, la imagen media es utilizada como punto de partida para el desarrollo de las metodologías y técnicas que se describen en los siguientes capítulos.



a)



b)

Figura 2.4: Imagen media de la zona de estudio del balneario Monte Hermoso correspondiente al día 27-04-2010 durante pleamar. a) Dos minutos de grabación. b) Cinco minutos de grabación.



Figura 2.5: Imagen varianza de la zona de estudio del balneario Monte Hermoso correspondiente al día 27-04-2010 durante pleamar.

2.3. Transformación Projectiva Bidimensional

La transformación proyectiva bidimensional (TPB) establece la proyección de una superficie plana sobre otra superficie plana, situación característica en la rectificación de imágenes fotográficas (Lerma, 2002). Las ecuaciones de la TPB permiten calcular analíticamente las coordenadas de puntos del sistema de referencia sobre un plano (X, Y) a partir de las coordenadas de sus puntos homólogos en el sistema arbitrario (x', y') que pertenecen a otro plano inclinado. Ésta es la relación existente al proyectar una escena real sobre el plano de la imagen de una cámara.

Las siguientes expresiones representan la proyectividad entre dos planos no paralelos a partir de ocho parámetros $(a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, c_1, c_2)$:

$$X = \frac{a_1x' + b_1y' + c_2}{a_3x' + b_3y' + 1}$$

$$Y = \frac{a_2x' + b_2y' + c_2}{a_3x' + b_3y' + 1}$$

Conocidas las coordenadas de un número de puntos $n \geq 4$ en ambos sistemas (x', y') (X, Y) , pueden calcularse los parámetros de transformación. En base a estos últimos, se pueden obtener las coordenadas sobre el sistema de referencia de los puntos correspondientes que se midan sobre el sistema fotográfico. Este proceso es conocido como rectificación.

Puntos	Pixel (x_i)	Pixel (y_i)	Latitud (X_i)	Longitud (Y_i)
Punto1	367	448	38°59'21,27"	61°16'36,27"
Punto2	507	407	38°59'28,65"	61°16'37,39"
Punto3	1043	610	38°59'27,40"	61°17'19,82"
Punto4	637	866	38°59'21,27"	61°17'18,88"

Tabla 2.1: Coordenadas geográficas de los puntos de control en la imagen.

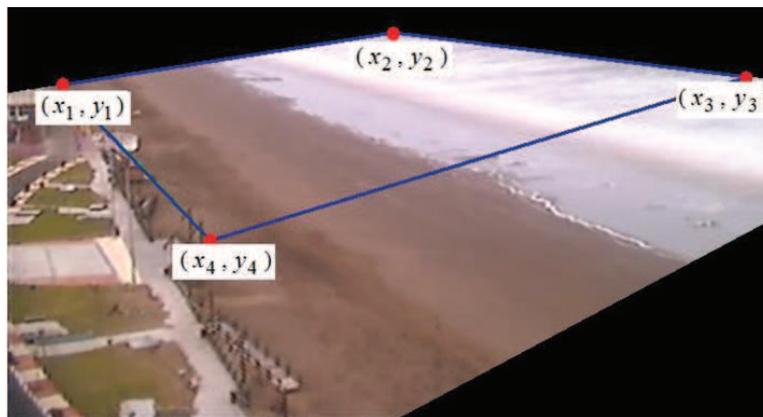
2.4. Rectificación de Imagen

La rectificación de una imagen media oblicua a una vista cenital se realiza empleando una transformación proyectiva bidimensional, lo cual es un método típico en la edición de imágenes fotográficas. El algoritmo para calcular la matriz de proyección requiere de la correspondencia entre cuatro puntos de control en la imagen oblicua y cuatro puntos en el terreno real.

Los puntos de control (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) , (x_4, y_4) son coordenadas de píxeles conocidas en la imagen (Figura 2.6), mientras que (X_1, Y_1) , (X_2, Y_2) , (X_3, Y_3) , (X_4, Y_4) son las coordenadas geográficas del terreno medidas con un Sistema de Posicionamiento Global (SPG) (Figura 2.6). Las coordenadas del terreno son posicionadas en una capa del software Google Earth con el objetivo de visualizarlas en un sistema de coordenadas

cartesianas, para luego posicionarlas en un software de Sistema de Información Geográfica (Tabla 2.1).

Una vez que se determinan los puntos de control, las coordenadas reales y se resuelve la matriz de proyección se rectifica la imagen media. Esto permitirá cuantificar las características visibles en el campo de la cámara en la metodología posterior de procesamiento de imágenes.



a)



b)

Figura 2.6: Rectificación de la imagen. a) Puntos de control cuyas coordenadas geográficas fueron obtenidas con un GPS-RTK y relacionadas con las coordenadas de los píxeles en la imagen. b) Coordenadas reales de los puntos de control. Estas coordenadas determinan los parámetros de la matriz de proyección.

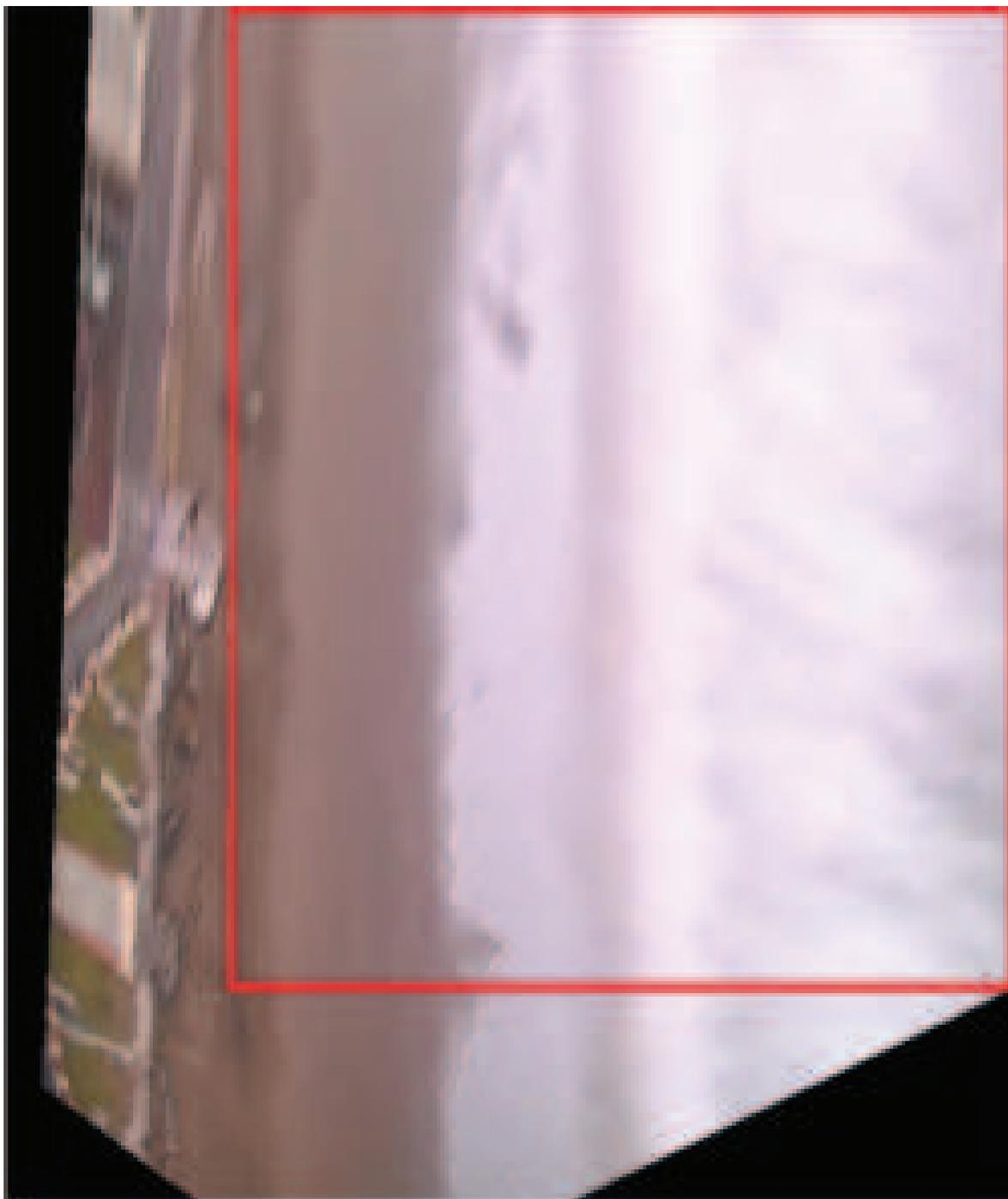


Figura 2.7: Imagen rectificada de una imagen media oblicua a partir de la transformación proyectiva bidimensional correspondiente al balneario de Monte Hermoso del día 07-09-2009. Se observa la pérdida de alta frecuencia espacial (nivel de detalle) a medida que la transformación se hace más expansiva (parte superior).

Capítulo 3

Detección de la Línea de Ribera

En este capítulo se desarrolla una metodología empleando algoritmos de PDI para la detección de la línea de ribera y su variación en imágenes medias de secuencias de videos. En primer lugar se describen los diversos espacios cromáticos disponibles para la representación de imágenes, y los métodos de segmentación mono-distancia y de umbralización que permiten realizar la separación de la interacción entre mar y tierra. En segundo lugar se detallan las operaciones y métodos de aproximación que se utilizan para la extracción y medición de la línea de ribera.

3.1. Antecedentes

Desarrollar una herramienta automática de detección de línea de ribera es un problema complejo, debido a la cantidad de fenómenos ambientales y factores técnicos (cambios de luz, condiciones climatológicas, variaciones en el nivel del mar, oscilaciones en el frente de playa debido a las condiciones de oleaje, resolución de la imagen, etc.) que afectan el PDI (Osorio Arias et al., 2007). Diferentes espacios cromáticos para la detección de la interfaz de agua y tierra han sido estudiados por diversos autores. El método *Shoreline Detection Model* pertenece a las herramientas del sistema Argus. Esta técnica se basa en

Pixel Intensity Clustering (PIC), la cual intenta diferenciar el color entre las zonas de arena seca y húmeda (Aarninkhof, 2003).

Otro método desarrollado para la detección de la línea de ribera a partir de la definición del perfil de playa, usando las características del color, es el RatiosRGB (Osorio Arias et al., 2007). En éste se selecciona una línea de píxeles correspondiente a la zona donde está definido el perfil, y se calcula una relación a partir de la combinación de los canales *RGB*. La base del algoritmo se sustenta en técnicas heredadas de la teledetección, donde las zonas de tierra y agua son generalmente identificables en la banda del rojo (Lillesand y Kiefer, 2000). El método intenta cuantificar la proporción en los niveles radiométricos *G* y *B* con respecto al *R*, realizando los valores de este último.

Por otro lado, la segmentación es el proceso que permite diferenciar zonas en una imagen digital. En primer lugar se utiliza un operador que mida una determinada característica de cada pixel con respecto al objeto que se desea segmentar. A partir de dicha característica se define un nivel de separación, desde el cual se diferencian las categorías.

En el caso de la detección de la línea de ribera, se propone la utilización de un operador de distancia a un pixel prototipo seleccionado sobre una región representativa de la zona de tierra. Mediante este operador se obtiene una imagen distancia que luego es segmentada con una técnica de umbralización para obtener una imagen binaria, representada en regiones blanco o negro. Una región blanca indica presencia de mar mientras que una región negra indica zona de arena. Este método está basado en la técnica de clasificación por distancia mínima (Lillesand y Kiefer, 2000) (Girard y Girard, 1999).

La línea de ribera queda determinada por la separación entre la región blanca y negra. La extracción del borde que la representa se realiza mediante filtros morfológicos, obteniendo el conjunto de píxeles que componen al borde. Se presenta un análisis de diferentes técnicas de medición de longitud de acuerdo a diversas opciones de representación de bordes.

3.2. Segmentación de la Interacción Mar y Tierra

3.2.1. Modelo de Color RGB e YIQ

El propósito de un modelo de color es facilitar la especificación de los colores siguiendo algún estándar. El modelo está determinado por una base de n vectores, cuyas combinaciones lineales generan todos los elementos del espacio cromático. Por mencionar algunos ejemplos: espacio de una dimensión, la escala de grises; espacios de dos dimensiones, los planos RG , GB y BR , espacios tridimensionales, el espacio RGB , HSV , HSI , YIQ , entre otros.

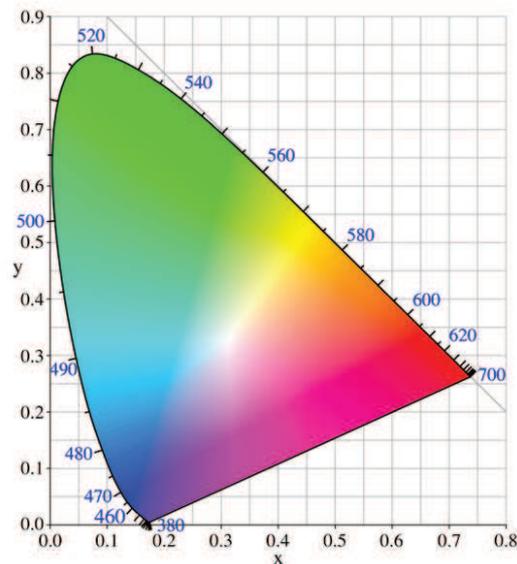


Figura 3.1: Estándar CIE. Diagrama de cromaticidad.

El espacio de color *CIE* 1931, establecido por la Comisión Internacional de L'Éclairage (CIE), es uno de los primeros espacios de color definidos matemáticamente. El mismo estuvo basado en una serie de experimentos que permitieron definir con precisión los tres colores primarios de la síntesis aditiva de color a partir de los cuales pueden crearse todos los demás (Figura 3.1) ¹.

¹Gráficos extraídos de: <http://es.wikipedia.org/wiki/Espacio-de-color-CIE-1931>

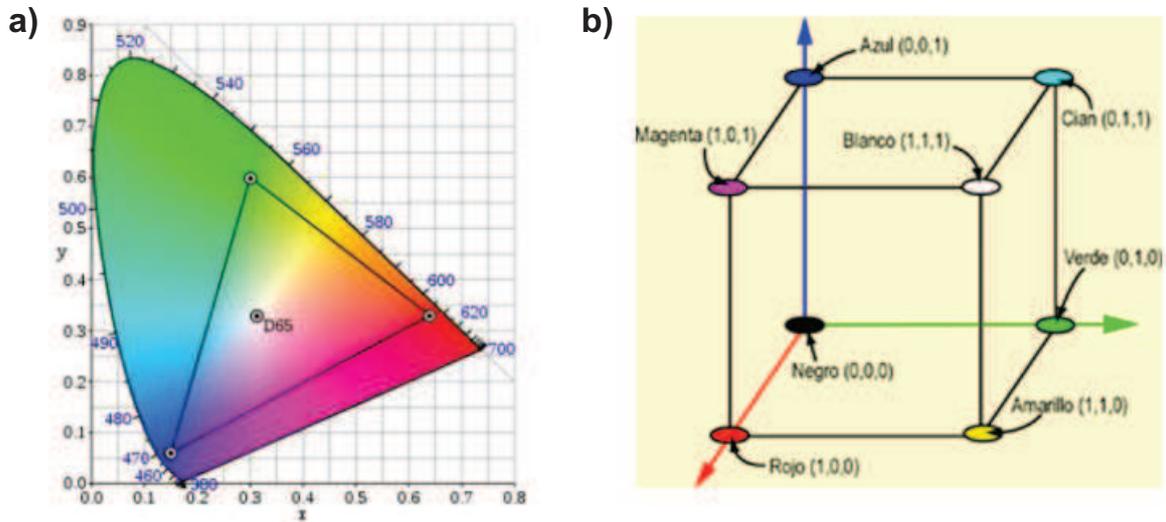


Figura 3.2: Espacio de color RGB. (a) Conjunto de los colores primarios de rojo, verde, azul y blanco *D65* (cuerpo negro a 6500K). b) Cubo unitario que representa al espacio de color *RGB*.

El modelo RGB es un sub-espacio del espacio euclidiano conformado por el cubo unitario mostrado en la Figura 3.2². Los colores aparecen con sus componentes primarias de rojo, verde y azul y sus valores de intensidad se encuentran a lo largo de los tres ejes. El cian por ejemplo está situado en el vértice del cubo en donde el color verde y el azul tienen su máximo valor, y el valor del rojo es cero. El color negro se obtiene de la combinación en cero de los tres canales, mientras que el blanco es la combinación en máximo de los tres canales. Con este modelo se obtiene el blanco *D65*, correspondiente a la radiación de un cuerpo negro a una temperatura de 6500K. El formato más empleado para implementar este modelo es el que utiliza 8 bits por canal logrando 16,7 millones de colores.

El modelo de color *YIQ* fue establecido por el estándar de televisión NTSC (*National Television System Committee*). La componente *I* significa en fase, mientras que la componente *Q* significa cuadratura. La componente *Y*, como única componente, representa la información de luminancia. Las componentes *I* y *Q* representan la información de cromaticidad.

²Gráficos extraídos de: <http://en.wikipedia.org/wiki/RGB-color-model>

El modelo YIQ fue diseñado para aprovechar la ventaja de la sensibilidad del sistema visual humano frente a los cambios de luminancia. Así los estándares YIQ emplean más ancho de banda (o bits en el caso del color digital) para representar la Y , y menos para representar la I y la Q (Smith, 1978) (Pritchard, 1977). La conversión entre ambos espacios de color, RGB e YIQ , se obtiene mediante una transformación lineal entre sus componentes. La forma de representación matricial de YIQ a RGB está dada por:

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ 0,59572 & -0,27445 & -0,32126 \\ 0,21146 & -0,52259 & 0,31113 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

donde las coordenadas R , G y B están normalizadas y pertenecen al entorno $[0; 1]$. Mientras que la matriz de transformación a YIQ a RGB se define como:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0,95629 & 0,62102 \\ 1 & -0,27212 & -0,64738 \\ 1 & -1,10699 & 1,70461 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

donde las coordenadas normalizadas de Y , I y Q pertenecen a los entornos $[0; 1]$, $[-0,59572; 0,59572]$ y $[-0,52259; 0,52259]$, respectivamente. Los espacios RGB e YIQ detallados previamente son los que se emplean en el desarrollo de esta tesis.

3.2.2. Operador de Distancia

El operador de distancia evalúa la diferencia cromática entre cada pixel de la imagen y un pixel de referencia o prototipo p_t . Este operador puede ponderar cada banda de la imagen de manera diferente o simplemente calcular la distancia Euclídea en el espacio de n dimensiones determinado por la cantidad de bandas. La definición general del operador es:

$$D(i, j) = \sqrt[k]{\sum_{t=1}^n A_t * (x_t(i, j) - (p_t))^{k_t}}, \quad (3.3)$$

donde $x_t(i, j)$ es la información de la t -ésima banda en el pixel de la columna i y la fila j , y p_t contiene la información del valor de intensidad del pixel prototipo en la banda t . La referencia no es necesariamente un pixel dentro de la imagen, es posible que se trate del promedio en el espacio cromático de varios píxeles característicos de figura o, incluso, provenir de un modelo. El peso final de cada banda en el resultado de distancia se controla a partir de la aplicación de la potencia k_t y el factor de multiplicación A_t . Finalmente se aplica la raíz k -ésima sobre la sumatoria. La usual norma 2 o Distancia Euclidiana entre los vectores x y p , se obtiene asignando $A_t=1$ y $k_t=k=2 \forall t$.

Del resultado de aplicar el operador se obtiene una magnitud escalar que es almacenada en una matriz de distancia. Esta matriz se normaliza luego para obtener una imagen distancia en escala de grises. Con esta técnica se establece que a menor distancia mayor probabilidad de tratarse de un pixel figura, y a mayor distancia mayor probabilidad de tratarse de un pixel de fondo.

Para poder diferenciar la interacción entre mar y tierra es necesario definir un prototipo, que identifica a una de las zonas. En esta etapa se elige un prototipo de la zona de arena en forma manual.

3.2.3. Método de Umbralización

La imagen de distancia en escala de grises representa la diferencia entre los objetos a extraer respecto del fondo de la escena. Sin embargo es necesario definir a partir de qué nivel se considera cuáles elementos pertenecen a figura o fondo. Para esto se utiliza una técnica de umbralización que se basa en la similitud entre los píxeles pertenecientes a un objeto y sus diferencias respecto al resto.

Al aplicar un umbral U , la imagen en escala de grises $ID(i, j)$ quedará binarizada; etiquetando con '1' los píxeles correspondientes a mar y con '0' a los de arena. La ecuación de umbralización es la siguiente:

$$IM(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{si } ID(i, j) \geq U \\ 0 & \text{si } ID(i, j) < U \end{cases} \quad (3.4)$$

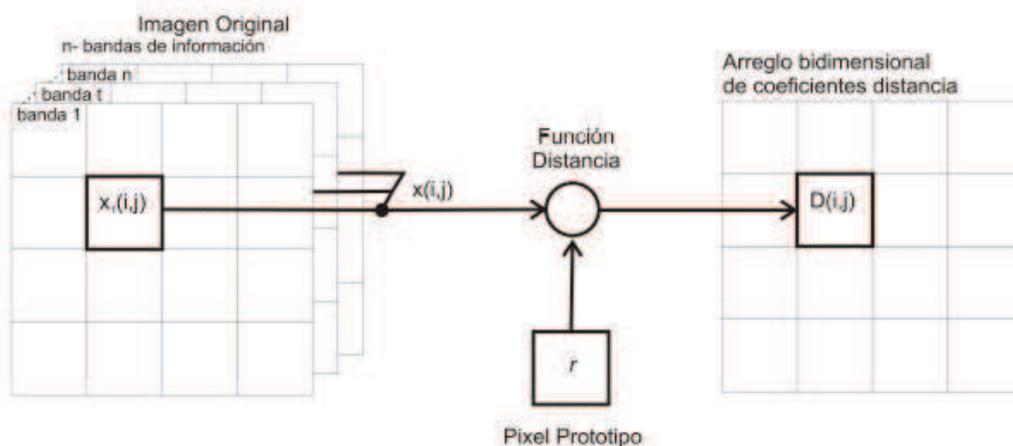
El valor de umbral puede depender de $ID(i, j)$, de alguna propiedad local del pixel $p(i, j)$ o de su posición (i, j) . Si el umbral sólo depende de $ID(i, j)$ se dice que es un umbral global; en el caso de que además dependa de $p(i, j)$, por ejemplo, el valor medio de los píxeles vecinos, el umbral es denominado local; y si depende también de la posición del pixel se denomina dinámico. La mayoría de las técnicas de umbralización se basan en estadísticas sobre el histograma unidimensional de una imagen. Para el caso de estudio se utiliza un umbral global determinado a partir del histograma.

3.2.4. Aplicación de la Metodología para la Segmentación

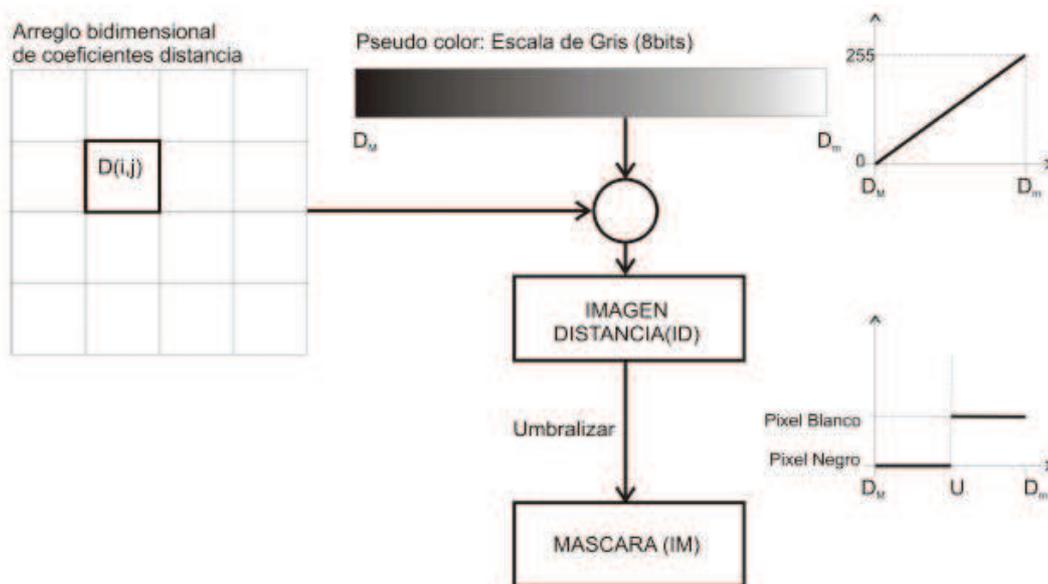
La Figura 3.3³ resume el proceso de segmentación compuesto por las etapas de cálculo de distancia, generación de la imagen distancia y umbralización. Este proceso se aplica sobre la imagen media rectificada, en la cual se selecciona sólo el área de interés donde se encuentra la zona de interacción entre mar y tierra para reducir el tiempo y costo de procesamiento. Luego se realiza la conversión al espacio cromático YIQ , donde se desacoplan las componentes de luminancia y cromaticidad (Figura 3.4).

Para el cálculo de distancia sólo se considera la componente de luminancia y se selecciona un pixel prototipo representativo de la zona de tierra. Luego se obtiene la imagen distancia (Figura 3.5 a). A partir del histograma de esta última se determina el nivel para la umbralización (Figura 3.5 b). Dicho nivel corresponde aproximadamente al punto medio ubicado en el valle que separa los picos del histograma. El proceso de umbralización permite la obtención de la imagen segmentada (Figura 3.6).

³Gráficos extraídos de: Metodologías de segmentación y medición de características lineales en imágenes de sensado remoto, Marina P. Cipolletti, 2012



a)



b)

Figura 3.3: Esquema de procesamiento para la segmentación. a) Cálculo de imagen distancia. b) Pseudocolorado y umbralización.

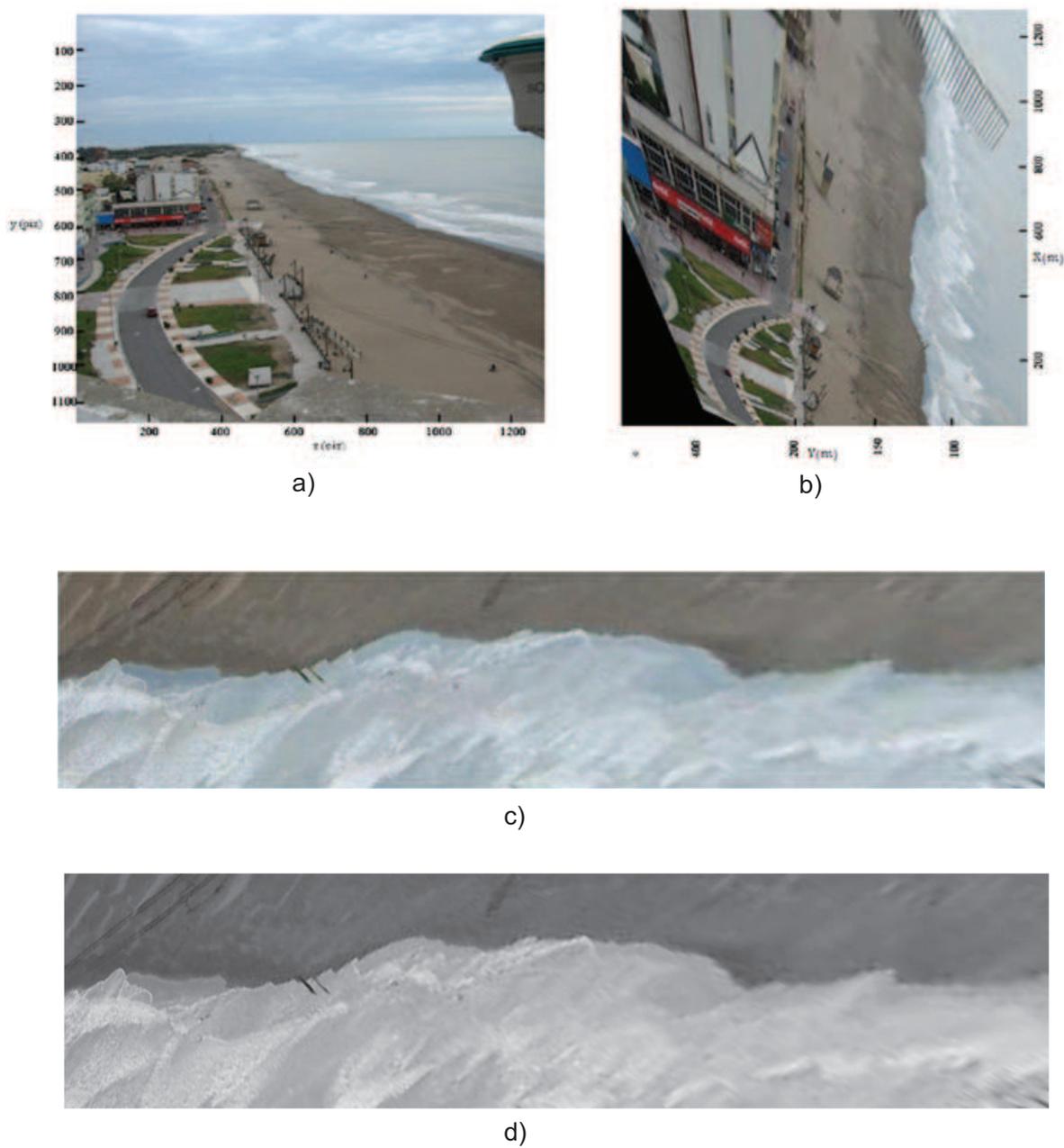
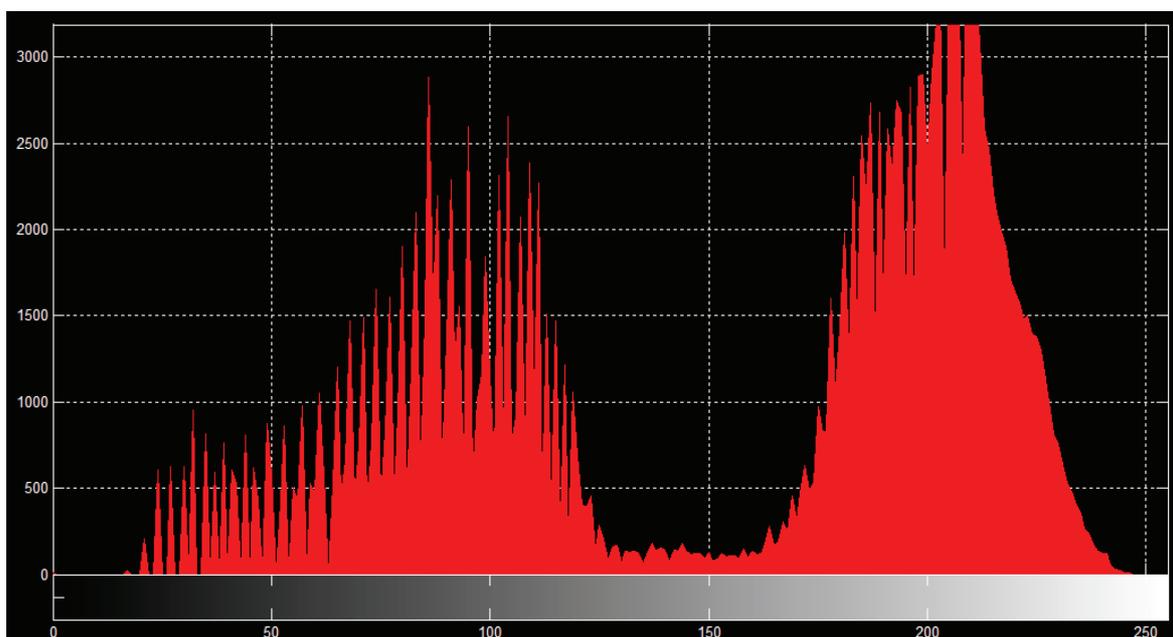


Figura 3.4: Etapa de pre-procesamiento. a) Imagen oblicua del balneario de Monte Hermoso. b) Imagen rectificada con la transformación proyectiva bidimensional. c) Selección del área de interés. d) Componente de luminancia en el espacio cromático YIQ.



a)



b)

Figura 3.5: Clasificación Mono-distancia. a) Imagen distancia de la componente de luminancia. b) Histograma de la imagen distancia.



Figura 3.6: Imagen de la playa de Monte Hermoso segmentada por el método de umbral.

3.3. Extracción y Medición de la Línea de Ribera

3.3.1. Operaciones Morfológicas

Las operaciones morfológicas son una herramienta matemática basada en la teoría de conjuntos (Serra, 1983). Actualmente el alcance de las mismas está presente en diferentes disciplinas, como es el caso del procesamiento de imágenes. Se pueden encontrar aplicaciones tales como la segmentación, restauración, detección de bordes, análisis de texturas, compresión, etc. Estas operaciones se pueden aplicar en imágenes de color, escala de grises o binarias.

En imágenes binarias, como el caso de una imagen segmentada, se aplica esta operación definiendo un elemento estructural de forma y tamaño determinado. Este elemento posee una conectividad que puede ser definida como la vecindad de píxeles adyacentes, por ejemplo la conectividad cuatro vecinos o la conectividad ocho vecinos. En morfología matemática, el elemento estructural es el equivalente al núcleo de convolución de los filtros lineales.

La operación de erosión, junto a la dilatación que serán definidas a continuación, son la base de la mayoría de las transformaciones morfológicas. En general cualquier operador, transformación o algoritmo incluye una erosión, una dilatación o ambas en su implementación.

La dilatación de A por un elemento estructural B se define por:

$$A \oplus B = \{x : x \in B_a, a \in A\} \quad (3.5)$$

donde B_a indica el desplazamiento de B de forma que su origen se ubique en el pixel a . La dilatación de A por B se puede interpretar como el lugar geométrico de los puntos cubiertos por B cuando su origen se desplaza dentro de A .

La erosión, operación dual de la dilatación, de un conjunto A por un elemento estructural B se define como:

$$A \ominus B = \{a \in A : B_a \subseteq A\} \quad (3.6)$$

Se puede interpretar a la erosión de A por B como el lugar geométrico de los puntos de A que ocupa el origen de B cuando B se mueve dentro de A .

Otra aplicación de las operaciones morfológicas es en la detección de contornos o bordes. Un borde en términos de procesamiento de imágenes, es la frontera en la que se produce un fuerte cambio de intensidad o una transición objeto-fondo, en imágenes en escala de grises o binarias, respectivamente. Su detección puede resultar útil cuando se necesita distinguir formas o reconocer figuras en una imagen. Utilizando las operaciones de erosión y dilatación, el contorno de una imagen A se puede obtener de diversas maneras:

$$1) \text{Contornos}(A) = (A \oplus B) - (A) \text{ (Contorno exterior)}$$

$$2) \text{Contornos}(A) = (A) - (A \ominus B) \text{ (Contorno interior)}$$

$$3) \text{Contornos}(A) = (A \oplus B) - (A \ominus B) \text{ (Ambos)}$$

3.3.2. Métodos de Representación de Bordes

Existen diferentes métodos para la representación de bordes que permiten identificar el conjunto de píxeles que lo conforman y describir a tal conjunto mediante una secuencia de códigos. Se puede clasificar a dichos métodos según utilicen algoritmos de códigos de cadenas o aproximaciones poligonales. Estas últimas están orientadas a la obtención de polinomios suaves para representar contornos con mayor precisión.

En principio, todos los métodos de representación contienen la información necesaria para reconstruir el borde a partir de su código. Sin embargo, la motivación para el desarrollo de las diferentes técnicas radica en la obtención de características cuantitativas que describen al borde, como ser su perímetro, área u otros índices de forma en el caso de contornos cerrados.

Algoritmos de código de cadena (chain code)

Los algoritmos de código de cadenas representan un contorno como una secuencia conectada de segmentos de líneas rectas, los cuales poseen longitud y dirección (Freeman, 1980). Esta representación se basa en dos tipos de conectividades y la dirección de cada segmento es codificada siguiendo un esquema numérico (Figura 3.7a.). De acuerdo al tipo de conectividad se distinguen dos versiones:

- Bordes Exteriores, de conectividad cuatro.
- Chain Code, de conectividad ocho.

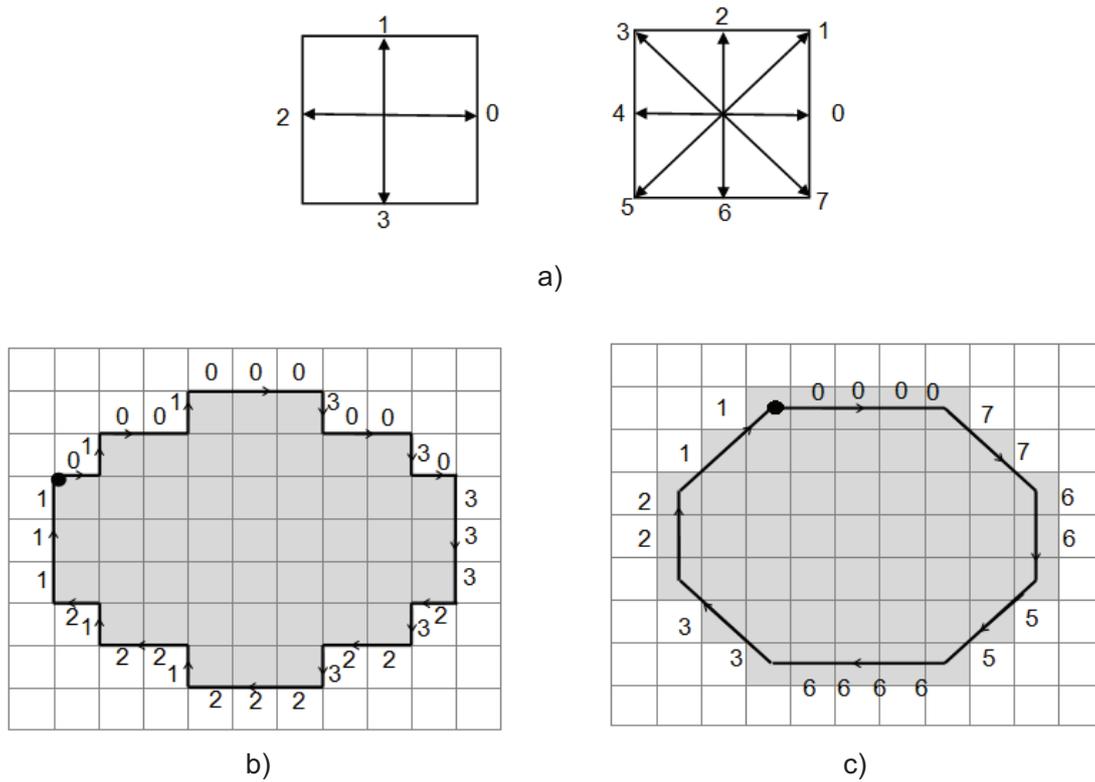


Figura 3.7: Freeman Chain Code. a) Esquema de conectividad cuatro y ocho. b) Algoritmo de Bordes Exteriores. c) Algoritmo Chain Code.

Un código de cadena puede ser generado siguiendo el contorno de un objeto en sentido contrario a las agujas del reloj y asignando una dirección al segmento que conecta cada par de píxeles. Como primer paso se debe elegir un pixel de partida sobre el contorno, luego se debe evaluar cual es el pixel adyacente y etiquetar este con los valores (0 a 3) o (0 a 7) de acuerdo a la conectividad. En este segundo caso, la posibilidad de unir puntos en forma diagonal mejora la precisión.

El método de bordes exteriores emplea la técnica de medición más simple que consiste en el conteo de los píxeles que conforman el borde. La desventaja de esta técnica es la falta de precisión en el cálculo de perímetros de objetos o figuras curvas. Por este motivo, la representación con el Chain Code de conectividad ocho tiene en cuenta las adyacencias diagonales, y la fórmula de cálculo está dada por:

$$P = n_p + \sqrt{2}n_i \quad (3.7)$$

donde n_p y n_i es la suma de segmentos con números pares e impares, respectivamente.

Algoritmos de aproximaciones poligonales

Uno de los algoritmos de aproximación de poligonales más utilizados es el Teh Chin Chain (Teh, 1989). Este se basa en la detección de puntos dominantes en una curva digital, los cuales concentran la información más importante sobre la forma de la curva (Figura 3.8). Estos puntos pueden ser utilizados como una representación compacta y efectiva de la misma, para análisis de formas o clasificación de patrones. El polígono obtenido al dibujar la unión entre los puntos dominantes adyacentes se utiliza para aproximar la forma del objeto.

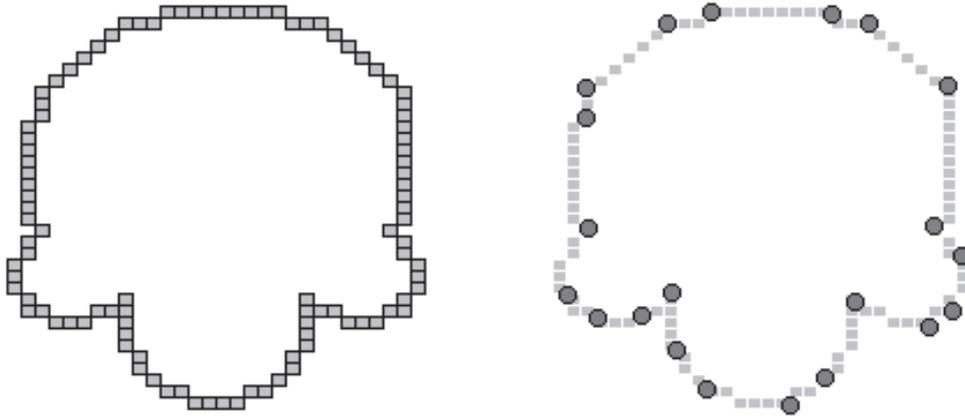


Figura 3.8: Algoritmo Teh Chin Chain. a) Representación de una curva digital mediante un conjunto de píxeles adyacentes. b) Puntos dominantes que permiten describir la forma de la curva digital.

El procedimiento no requiere parámetros de entrada y es aplicable aún cuando la curva presenta características de diferentes tamaños. En primer lugar se determina la región de soporte para cada punto en base a sus propiedades locales, luego se calcula una medida de relevancia de cada punto (por ejemplo su curvatura) y finalmente se seleccionan los puntos dominantes mediante un proceso de extracción de máximos locales.

Una observación importante sobre este algoritmo es que los resultados en la detección de puntos dominantes no sólo dependen de la medida de relevancia, sino también de la determinación precisa de la región de soporte. Esta consideración hace que el método no presente el problema de la selección del factor de escala necesario en otros algoritmos de detección. En este sentido, se han desarrollado tres versiones del método, de acuerdo a diferentes grados de precisión en la medición de la curvatura: k -coseno, k -curvatura y 1 -curvatura. De acuerdo a cada versión, la curvatura puede evaluarse tomando como referencia los vecinos más inmediatos o vecinos más alejados, lo que produce un cierto suavizado en los resultados.

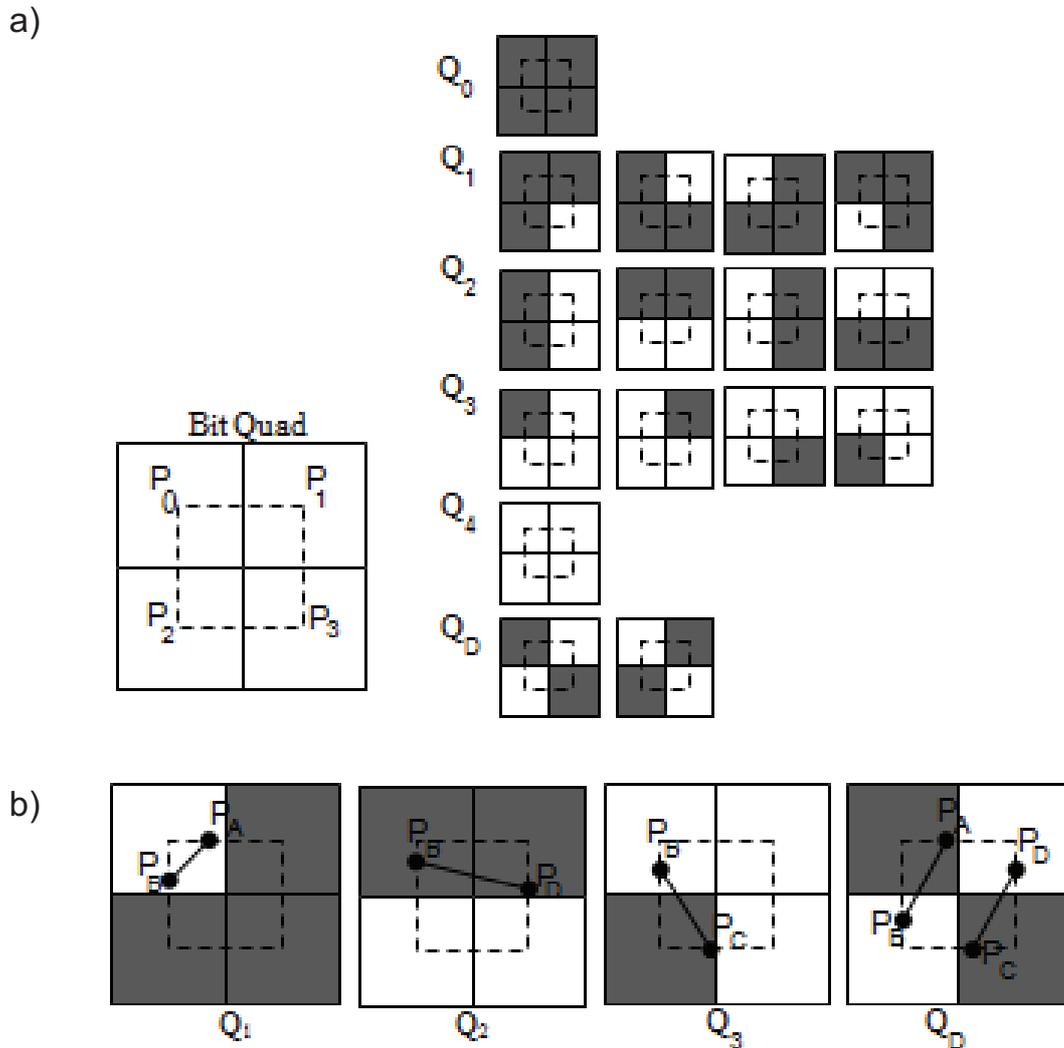


Figura 3.9: Bit Quad. a) Definición de un bit quad de cuatro píxeles. b) Combinaciones de un bit quad posibles en donde Q_1 , Q_2 , Q_3 y Q_D representan píxeles frontera.

El algoritmo Marching Squares con Interpolación (MSI) es un método para la representación de características lineales con súper resolución (Cipolletti et al., 2012) y está basado en la técnica Marching Squares (Pratt, 1991). A partir de una imagen D en escala de grises y su binarización B con un umbral U , el método obtiene un contorno. Luego se evalúa la imagen B analizando las propiedades de cada Bit Quad⁴ en busca de

⁴Ventana de 2x2 píxeles.

configuraciones de borde (Figura 3.9 a). Las configuraciones poseen al menos un par de coordenadas, excepto las del tipo QD que poseen dos pares (Figura 3.9 b).

Cada punto del contorno se sitúa en el segmento que une los puntos medios de los píxeles que lo contiene. Determinados dos puntos consecutivos del contorno, se calculan los segmentos de frontera mediante distancia Euclidiana entre ambos. La suma de todos los segmentos de recta calculados constituye el perímetro total.

3.3.3. Aplicación de la Metodología de Extracción de Bordes

Luego de la etapa de segmentación, en donde se logra la distinción entre continente y mar, se aplican un conjunto de operaciones morfológicas para obtener la línea de ribera. En primer lugar, se realizan la erosión y dilatación de la imagen segmentada. La resta de ambos resultados genera la imagen del contorno, el cual representa el conjunto de píxeles que componen la frontera donde se produce el cambio de regiones de fondo a figura (Figura 3.10).

La validación de los resultados obtenidos en la detección puede realizarse en forma cualitativa superponiendo el borde hallado sobre la imagen original (Figura 3.11). Al tratarse de un accidente geográfico, se observan las irregularidades presentes en la curva.

A nivel cuantitativo, la determinación de la longitud se efectúa mediante las técnicas de bordes exteriores, chain code de conectividad ocho, Teh-Chin Chain y Marching Square con interpolación lineal. También se incluye en la comparación la medida obtenida empleando un Sistema de Información Geográfico (Figura 3.12). Esta herramienta permite digitalizar en forma manual la poligonal de la línea de ribera y a partir de ella calcular su longitud.

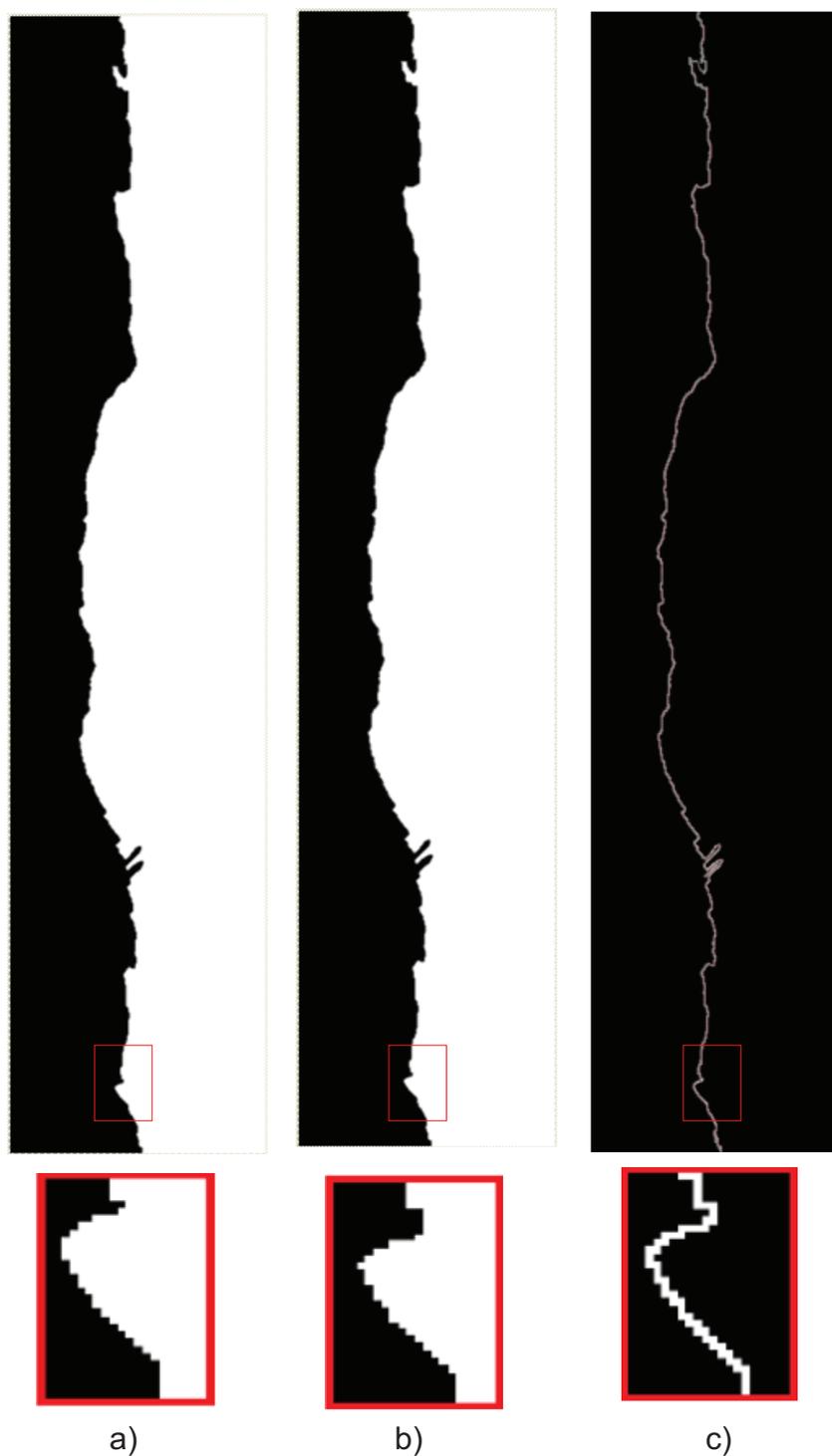


Figura 3.10: Filtros morfológicos aplicados sobre la imagen segmentada. a) Imagen dilatada. b) Imagen erosionada. c) Detección de contornos.



Figura 3.11: Línea de ribera hallada superpuesta sobre la imagen original correspondiente a la playa de Monte Hermoso. Los recuadros rojos indican una ampliación de la línea de ribera en estos sectores.



Figura 3.12: Segmentación manual de la línea de ribera del balneario Monte Hermoso en formato vectorial. La herramienta de SIG utilizada está basada en software libre.

Capítulo 4

Clasificación y Medición de Zonas de Playa

4.1. Antecedentes

En los últimos años, las playas se han convertido en uno de los sitios turísticos más visitados. Diferentes son los fines por los cuales se accede a ellas, entre los que se puede mencionar: tomar sol, surfear, pasar un día de picnic o nadar, entre otros. También existen visitantes que deciden finalmente quedarse en estos ambientes costeros, construyendo viviendas con vista al mar y salida hacia la playa. Esta atracción causa contaminación producida por personas (*people pollution*), lo que deteriora el medioambiente (Figura 4.1). La presión que ejercen los humanos en estos ambientes puede observarse cuando las playas públicas están llenas o a través de la proliferación de hoteles, estacionamientos, campings, los que en muchos casos deterioran el valor estético que conduce a las personas a la costa (Komar, 1976).

Este crecimiento de la presión en las playas causadas por el desarrollo económico y sus consecuentes problemas, ha motivado el establecimiento de políticas de manejo de zonas costeras. Éstas deben permitir hacer un buen uso de los recursos costeros y proteger las playas sujetas a la erosión, entre otros fines.



Figura 4.1: Contaminación de la playa causada por personas en la ciudad de Mar del Plata, Argentina. Fuente: Wikipedia (2011).



Figura 4.2: Pérdidas económicas y humanas causadas por un Tsunami en Japón. Fuente: Wikipedia (2011).

Las playas son ambientes inestables, la arena está continuamente siendo intercambiada de lugar debido a las dinámicas de las olas, las corrientes y el viento. En ocasiones la línea de ribera puede avanzar hacia el continente y destruir las infraestructuras construidas cerca del mar. Existen diferentes peligros de vivir en cercanías de la costa, los huracanes y tsunamis son uno de ellos y han causado grandes pérdidas económicas y humanas en los últimos años (Figura 4.2).

Eventos extremos excepcionales pueden producir grandes modificaciones en períodos cortos de tiempo (Birkemeier, 1979; Lizárraga Arciniega et al., 2007). Durante estos eventos el agua aplana el perfil de playa e invade la costa, llegando al pie del médano e inclusive, más ocasionalmente, erosionando la cara del mismo (Leatherman, 1979). El sedimento, además de ser movilizado a lo largo de la costa por las corrientes litorales, es transportado costa afuera y depositado en las barras de rompiente (Perillo, 2003). Durante los períodos de calma, la playa tiende a recuperarse a partir de la acción acumulativa de olas de largo período con la migración de las barras hacia la playa (Bustos et al., 2011).

Los médanos y playas son la defensa natural de la zona costera contra temporales marinos, ciclo que se destruye cuando comienzan los asentamientos masivos y sin control alguno (Piedra Cueva, 2006; Benavente et al., 2007). La ocupación antrópica desmedida reduce la franja costera haciéndola más vulnerable a los efectos de tormentas (Pozo, 2001; Hill et al., 2004).

En términos geomorfológicos, el perfil característico de una playa está compuesto por barras, canales y la presencia de médanos frontales (Perillo, 2003). La playa comienza con un médano frontal, que coincide con la primera línea de médanos y es considerado como el reservorio o almacén de arena de la playa.

Los sectores definidos a lo largo del perfil de playa son: una playa posterior o distal, que incluye la zona de médanos, el espaldón y una serie de escalones o bermas; una playa frontal en donde es posible encontrar barras de lavado y una playa exterior que puede presentar dos o más barras de rompiente (Huamantínco Cisneros, 2012). Esta última se conecta al frente de costa o *shoreface* (Figura 4.3).

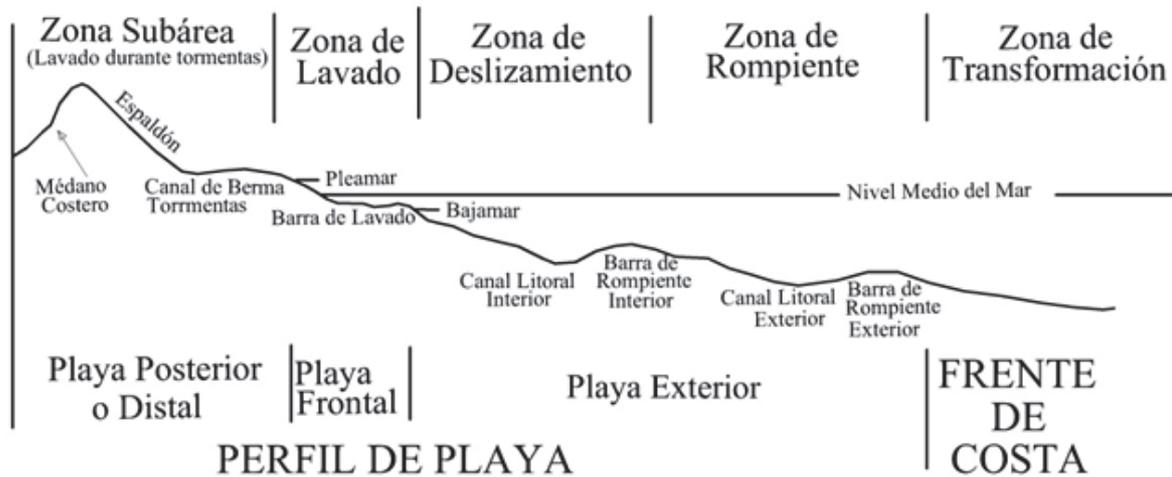


Figura 4.3: Perfil transversal de una playa típica. En la parte superior se indican las zonas hidráulicas y en la inferior los elementos geomorfológicos básicos. Fuente: Perillo (2003).

Actualmente la medición de las zonas de playa no es una tarea que se realiza en forma directa. No obstante, existen técnicas de relevamiento de perfiles topográficos de playa a partir de los cuales se puede inferir en una aproximación de dichas zonas. Entre ellas se puede nombrar la medición con el método Emery o el método con GPS Diferencial. El primero es un método de bajo costo y su precisión es de carácter subjetivo (por el observador que efectúa la medición) mientras que el segundo tiene un costo más elevado asociado a su nivel de precisión. Ambos métodos son manuales y requieren del relevamiento *in situ* por expertos.

En base a lo expuesto anteriormente, el PDI se presenta como una alternativa para la medición de zonas de playa en forma directa. La aplicación de PDI no ha sido abordada aún por los proyectos de monitoreo costero basados en técnicas de video. La realización de esta tarea implica poder distinguir cada zona mediante la clasificación de regiones en imágenes de la playa.

Desde el punto de vista del procesamiento, la clasificación es el proceso que permite definir clases o categorías en una imagen digital. Estas clases poseen características representativas de acuerdo a algún atributo, generalmente basado en color o textura (Ilea y

Whelan, 2011; Navon et al., 2005; Cheng et al., 2001). El desarrollo de métodos avanzados para clasificación y técnicas para mejorar la precisión de los datos obtenidos es complejo (Chen et al., 2007; Cheng et al., 2001). Un proceso de clasificación se compone de tres fases: descripción de las clases, asignación de cada elemento a una determinada clase, y agrupamiento de todos los elementos de acuerdo a la asignación (Chuvieco, 1995).

La descripción de las clases consiste en la definición de las características que identifican a cada una de las categorías que se desea distinguir. La asignación permite etiquetar cada elemento para asociarlo a alguna de las categorías, de acuerdo a un índice o medida de similitud respecto a las clases definidas. Finalmente, el agrupamiento de todos los elementos constituye la segmentación de la imagen.

Los métodos de clasificación de imágenes se dividen en dos grupos: 1) supervisado, basado en un conjunto de prototipos predefinidos; 2) automático, el cual no requiere conocimiento previo de la zona de estudio (Duda et al., 2001; Bow, 2002; Chuvieco, 2008).

En el caso de la identificación y medición de las zonas de la playa, se propone realizar esta tarea empleando un proceso que consta de un método híbrido. El algoritmo *Mean Shift* constituye la técnica no supervisada, mientras que en la parte supervisada se definen seis prototipos para identificar a las clases: playa seca, playa húmeda, zona de lavado, zona de rompiente, zona de agua y zona de sombras de edificios. En la Figura 4.4 se puede apreciar visualmente cuatro de los grupos considerados en la clasificación. En este caso no existe el grupo de sombras de edificios. Las características de cada grupo se definen en base a niveles de intensidad de regiones de píxeles prototipos, mientras que la asociación se establece mediante un índice de similitud basado en distancias mínimas. De esta manera, la clasificación se realiza con un método supervisado, en donde el único parámetro establecido por el usuario es la selección de los píxeles prototipos.



Figura 4.4: Zonas de playa en el balneario de Monte Hermoso correspondientes al día 07-09-2009. Las características de los niveles de intensidad se aprecian visualmente.

4.2. Pre-Segmentación con el Algoritmo *Mean Shift*

El algoritmo *Mean Shift* propuesto por (Fukunaga y Hostetler, 1975) y adaptado por Cheng, 1995 para su aplicación en imágenes, ha sido empleado en varias tareas de visión por computadora (Yizong, 1995; Comaniciu y Peter, 1995). Este método de segmentación permite encontrar los extremos locales de la distribución de densidad de un conjunto de datos. En imágenes, es usado para encontrar los modos principales en el histograma y luego clasificar los valores de intensidad de acuerdo a estas modas. La principal ventaja

de este algoritmo radica en que no es necesario el conocimiento *a priori* del número de clases.

La razón para utilizar esta técnica de estimación de las modas principales del histograma se debe a que el espacio de datos se puede caracterizar como una función de densidad de probabilidad de los niveles de intensidad sobre la imagen. En forma genérica, regiones densas en el espacio de datos se corresponden con los máximos locales de la función de densidad, esto es, la ubicación de las modas desconocidas. Una vez que se han encontrado los máximos locales, aplicando el algoritmo en forma iterativa, se asociarán en un grupo común a todos aquellos datos que se encuentren en un entorno determinado.

Con el fin de obtener mejores resultados se ha utilizado en combinación con otros métodos (Yu y Liu, 2003). Una aproximación híbrida con los métodos de *Mean Shift* y *C-Means Fuzzy* permite obtener con el primero una segmentación de calidad y con el segundo la eficiencia computacional (He y Zhu, 2009). Este enfoque se considera muy bueno dado que proporciona un equilibrio entre la facilidad de uso, la eficiencia y la calidad de la segmentación.

Adaptaciones de *Mean Shift* también pueden encontrarse sobre imágenes de vegetación (Zheng et al., 2009). El algoritmo resultante consta de dos etapas. En la inicial se extraen características tales como el tono y la saturación en el espacio *HSI* (*Hue Saturation Intensity*) y las componentes radiométricas del espacio *RGB*. En la segunda fase se realiza la segmentación de la imagen con las características extraídas, mediante una combinación de *Mean Shift* y una red neuronal *Back Propagation* con lo que la imagen se clasifica en dos clases, vegetación verde y no verde. Esta combinación de algoritmos genera buenos resultados; sin embargo, no es adecuada para ser utilizada en tiempo real. Recientemente, para mejorar el rendimiento de la segmentación de imágenes de cultivo, Liying Zheng (2010) implementa un método híbrido entre el *Mean Shift* y el discriminante lineal de *Fisher*. Los resultados de las simulaciones muestran que esta estrategia aumenta la dispersión entre clases y disminuye la dispersión de las muestras dentro de la clase.

Mean Shift es un método iterativo, se comienza con una estimación inicial x de la densidad y una función *kernel* K , usualmente Gaussiana. En cada iteración, se determina el peso de los puntos vecinos para re-estimar x . La media ponderada de la distribución de densidad en la ventana determinada por K está dada por:

$$m(x) = \frac{\sum_{x_i \in N(x)} K(x_i - x)x_i}{\sum_{x_i \in N(x)} K(x_i - x)} \quad (4.1)$$

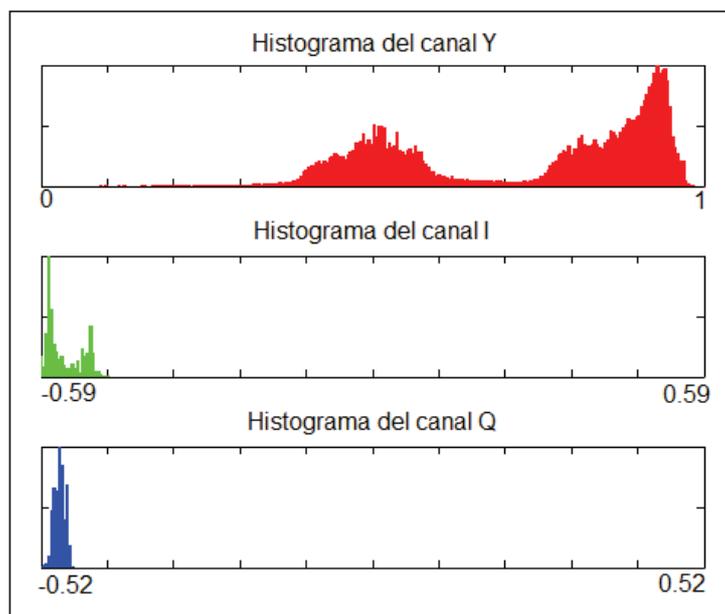
donde $N(x)$ es una vecindad de x . El algoritmo asigna $x = m(x)$ y repite la estimación hasta que $m(x)$ converge a un valor dado.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en otras disciplinas a partir de la segmentación con métodos híbridos, en esta sección se propone una técnica compuesta por dos algoritmos. En primer lugar, se busca disminuir la dispersión entre las clases haciendo una presegmentación por medio de *Mean Shift* sobre imágenes medias rectificadas, en las cuales se selecciona el área de interés. Posteriormente se desarrolla una etapa de clasificación a grupos de píxeles prototipos, en la que se realiza la asignación y el agrupamiento final de los elementos.

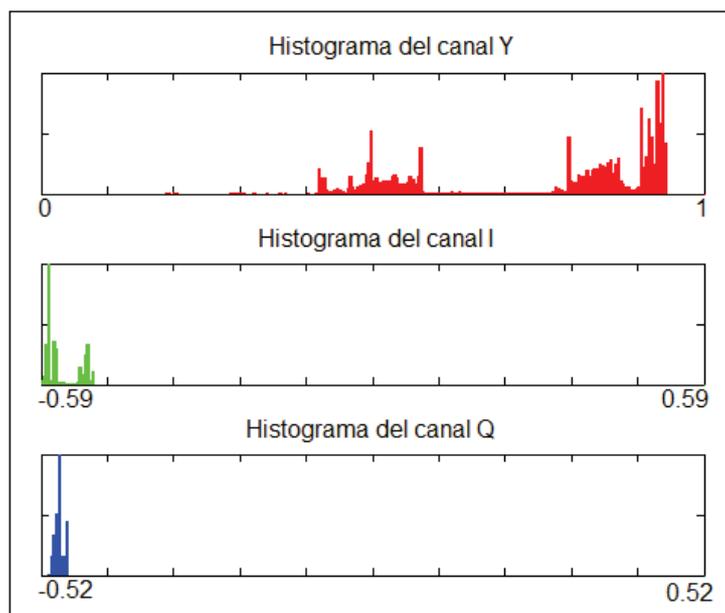
Empleando el espacio cromático YIQ , los buenos resultados de la pre-segmentación son visualmente notables (Figura 4.5). No obstante, el algoritmo *Mean Shift* sólo permite reducir la dispersión en la distribución de intensidades, sin generar la asociación de elementos por clases. Concretamente, en la (Figura 4.6), el histograma de la imagen media presenta picos (modas) en los tres canales del modelo YIQ . Luego de la pre-segmentación, la reducción de dispersión mantiene la posición de los valores pico, pero los valles entre éstos se hacen más pronunciados.



Figura 4.5: Aplicación del algoritmo *Mean Shift* en imágenes medias de la playa de Monte Hermoso. a) Área seleccionada sobre la imagen media. b) Resultado de aplicar el algoritmo *Mean Shift*, la diferencia entre las zonas es visualmente más distinguible.



a)



b)

Figura 4.6: Histograma de las imágenes de la Figura 4.5. a) Antes de aplicar *Mean Shift*. b) Luego de aplicar este proceso.

4.3. Clasificación de Zonas

4.3.1. Caracterización de las Clases a través de Prototipos

La descripción de las clases consiste en la definición de las características que identifican a cada una de las zonas que se desea distinguir, en este caso: zona de playa seca, zona de playa húmeda, zona de deslizamiento, zona de rompiente y agua. Las características de cada una de ellas se definen en base a los valores radiométricos de las distintas regiones. La elección de prototipos es fundamental para lograr un buen descriptor, por lo que este proceso se realiza bajo la supervisión de un experto en zonas costeras.

Utilizando la imagen resultante de la pre-segmentación, un grupo de píxeles prototipos representativos de cada zona es seleccionado. Las sombras de los edificios sobre la arena conforman un nuevo grupo pero que no representa una zona de la playa. Debe tenerse en cuenta la sombra de los edificios porque genera un pico en el histograma, lo cual dificulta la clasificación. Empleando un grupo que la identifique, en principio se clasifica en forma independiente de las demás clases.

Cada rectángulo marcado en la Figura 4.7 representa una selección de píxeles prototipos: en cian la clase representativa de la sombra de edificios, en color amarillo la zona de playa húmeda, en rojo zona de playa seca, en verde zona de rompientes y en magenta la zona de agua. Ante la ausencia de sombras, no se considera al prototipo definido en color cian. En el primer caso se tienen cinco clases mientras que en el segundo se consideran sólo cuatro.

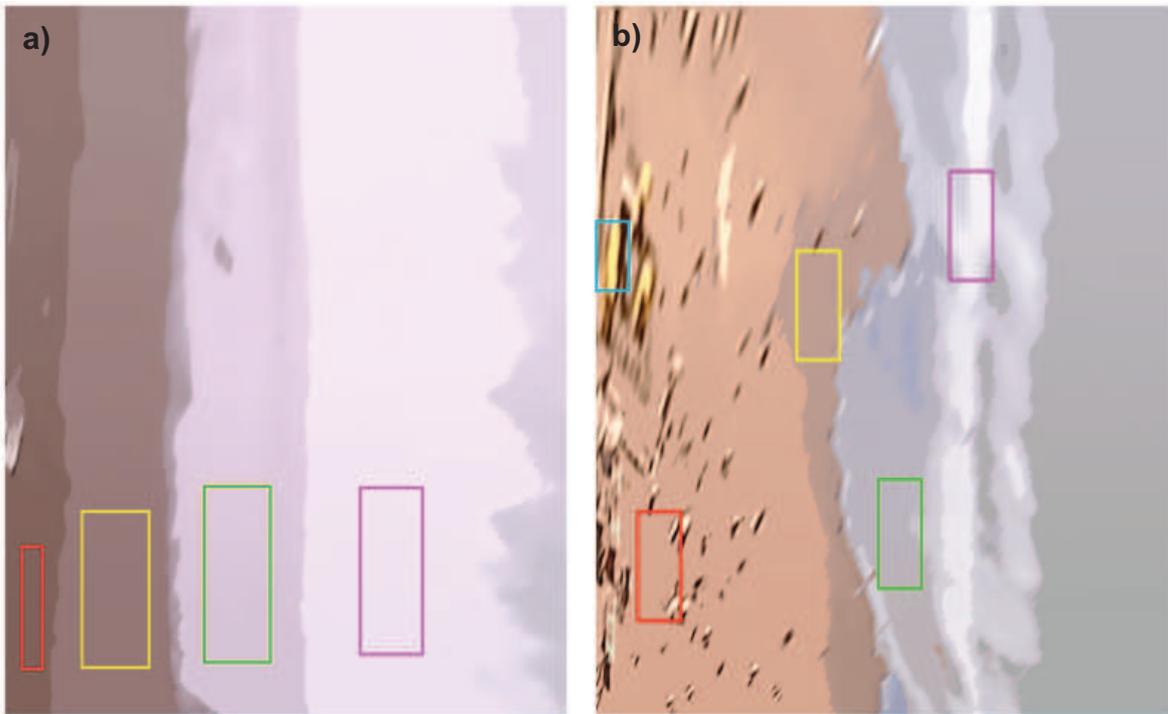


Figura 4.7: Grupos de píxeles prototipos de la playa de Monte Hermoso. Zona de playa seca (rojo), zona de playa húmeda (amarillo), zona de lavado (verde), zona de rompiente (magenta) y zona de sombras (cian). a) 26-02-2010. b) 07-09-2009.

4.3.2. Descripción de las Clases

Caracterizar correctamente a los prototipos impacta en forma directa sobre el desempeño de cualquier técnica de clasificación supervisada. Por esto, se analizan sus histogramas, considerando de a dos canales para observar la distribución de los valores de intensidad respecto a cada clase. Las distribuciones de los valores radiométricos de cada grupo prototipo se muestran en la Figura 4.8.

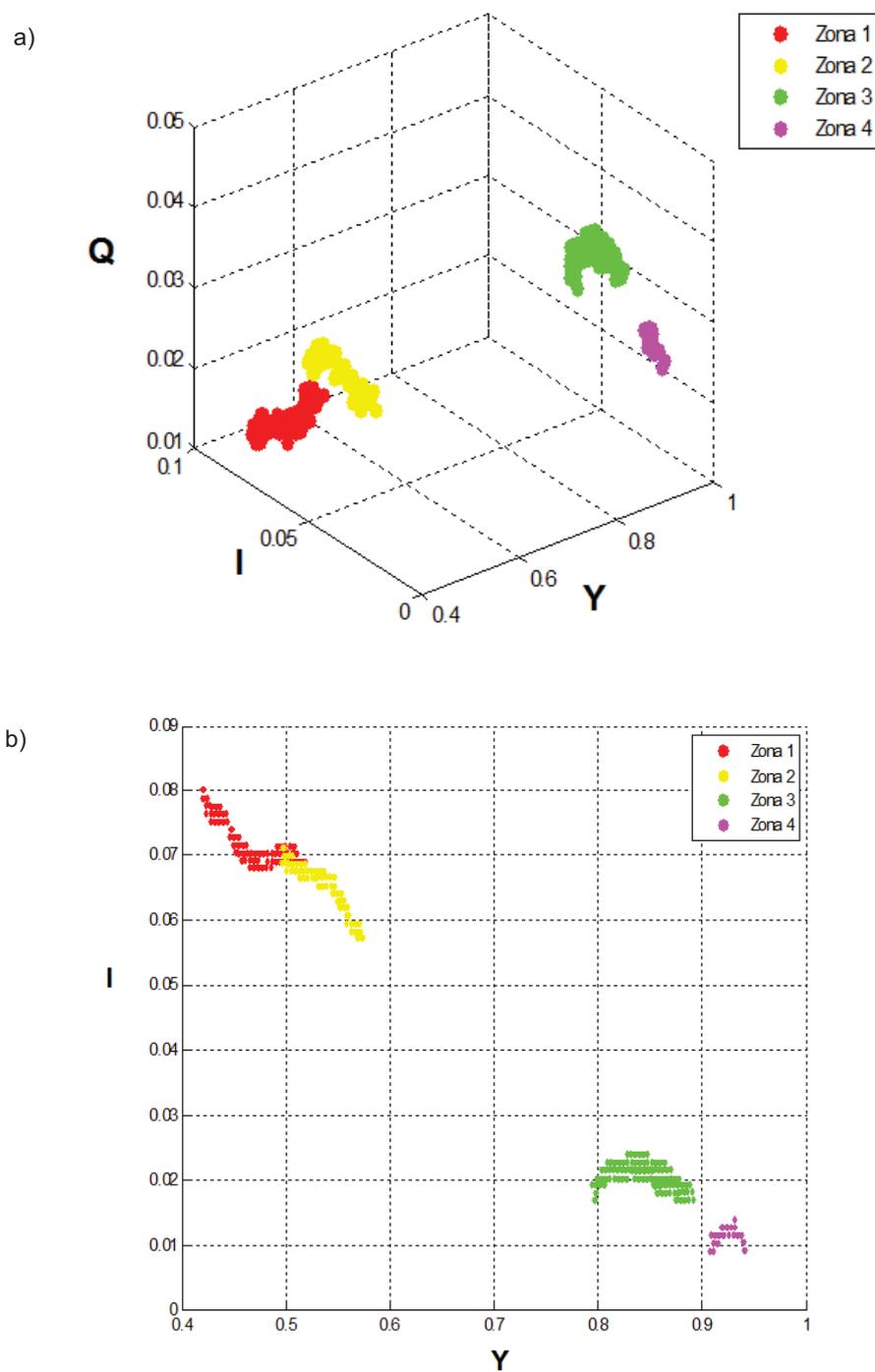


Figura 4.8: Distribución de los valores radiométricos de cada grupo prototipo. a) Componentes Q , I e Y . b) I vs. Y .

A partir de las distribuciones mostradas en la figura anterior, se puede observar que en los canales Y vs. I la separación de las características de los prototipos es mayor que en los otros dos casos. Por este motivo, en la etapa de clasificación se trabaja únicamente con los canales mencionados.

4.3.3. Cálculo de un Prototipo por Área

Luego de la selección de regiones prototipos realizada en la instancia previa, es necesario definir un único valor que represente a cada zona. El centroide o valor medio de intensidades de cada región es una medida adecuada para esta caracterización (Friedman y Rubin, 1967; Haralick y Kelly, 1969; Saha y Bandyopadhyay, 2010).

Se define el centroide correspondiente a la k -ésima región prototipo como el promedio de valores de las componentes consideradas:

$$((Y_C)_k, (I_C)_k) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y, I)_i, \quad (4.2)$$

donde n es el número de píxeles en el k -ésimo grupo de los canales Y e I .

4.3.4. Clasificación por Distancia Mínima

Contando con los centroides correspondientes a cada clase definidos por sus componentes en Y e I , la clasificación se realiza con el método de Distancia Mínima propuesto por (Girard y Girard, 1999). La distancia Euclídea entre las componentes Y e I y el k -ésimo centroide son calculadas para cada pixel:

$$(d_k)^p = \sqrt{(Y_p - Y_C)_k^2 + (I_p - I_C)_k^2}, \quad (4.3)$$

donde $(Y_C)_k$ e $(I_C)_k$ son calculados a partir de (Ecuación 4.3). El criterio de clasificación por distancia define la asignación del pixel p al centroide del grupo en el cual su distancia

es mínima, es decir:

$$G^p = \{k | \min(d_k)^p; k = 1, \dots, M\} \quad (4.4)$$

donde M es el número de clases establecidas. Claramente, el comportamiento del algoritmo está condicionado por la elección de las regiones prototipos: cuanto mayor sea la separación cromática de estas regiones, mayor será la probabilidad de asignar cada pixel a su correspondiente clase.

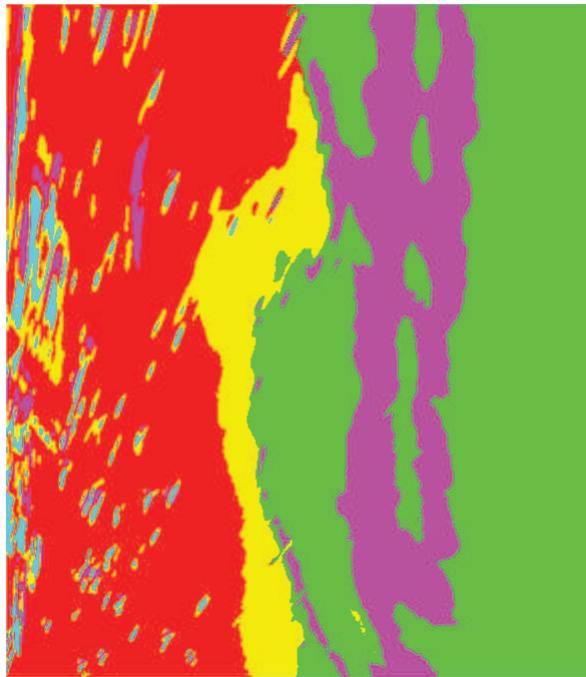


Figura 4.9: Clasificación de las zonas de playa del balneario Monte Hermoso utilizando el Método de Distancia Mínima Euclídea. Sombras de edificios y personas, Zona de playa seca (rojo), zona de playa húmeda (amarillo), zona de rompientes (magenta), zona de lavado y agua (verde).

Como ejemplo se muestra en la Figura 4.9 la clasificación por distancia mínima euclídea, en un caso donde aparecen sombras de edificios y personas, por lo tanto, se consideran cinco grupos. Puede observarse la aparición de dos sectores identificados como zona de lavado (en color verde). Sin embargo, sólo es correcta la ubicada entre las zonas de playa húmeda y rompientes, por lo que el sector azul de la derecha es eliminado teniendo en cuenta su ubicación. También es posible observar pequeñas zonas espurias que aparecen

dentro de sectores de mayor tamaño con una clasificación diferente. Para eliminar estos errores se desarrolla un proceso de filtrado en la etapa siguiente.

4.4. Medición de las Zonas de Playa

El *PDI* en esta etapa comprende un conjunto de operaciones que permitan describir cuantitativamente los resultados de la segmentación, lo que implica la extracción de ciertas características o medidas de los objetos presentes en la imagen (Pearson, 1991). En general, en las imágenes originales no es posible medir directamente las características de interés. Esto motiva la utilización de etapas de pre-procesamiento en las que se intenta aislar los objetos a medir. Comúnmente, la extracción de características es realizada sobre imágenes segmentadas en las cuales el o los objetos estén bien definidos.

Medir zonas de playa consiste en determinar el porcentaje de área y ancho de la imagen que ocupa cada una. Conociendo la relación metros por pixel es posible traducir esos porcentajes a valores correspondientes en la superficie real de la playa.

4.4.1. Detección de Contornos

La medición de la superficie de cada zona de la playa requiere una segmentación en la cual sólo se identifique un objeto por zona. Por ello, luego del proceso de clasificación por distancia mínima, la imagen resultante es descompuesta en distintas imágenes, una por cada uno de los grupos. El objetivo de esta descomposición es la obtención de una única región por clase.

Luego de la segmentación se puede notar la existencia de pequeños grupos que no pertenecen a las zonas de playa. Para ilustrar este fenómeno, en la Figura 4.10 se presenta un ejemplo de la descomposición por grupos segmentados. Se puede observar que en la primera clase (playa seca) existen huecos que no se reconocen como parte de este grupo. En la región de playa húmeda se aprecia la aparición de pequeñas zonas aisladas que no son parte de la clase. Aunque en menor medida, estos grupos también aparecen en la tercera

y cuarta clase. Claramente, esta observación es consistente con la presencia de personas, objetos o charcos de agua en las dos zonas de playa. Por este motivo, estas pequeñas regiones no indican errores en la clasificación, puesto que el método de distancia mínima asocia cada píxel al prototipo que presente mayor similitud. Por ejemplo, un pequeño charco de agua tendrá lógicamente niveles de intensidad de color próximo a alguno de los prototipos que describen a la zona de rompiente o lavado.

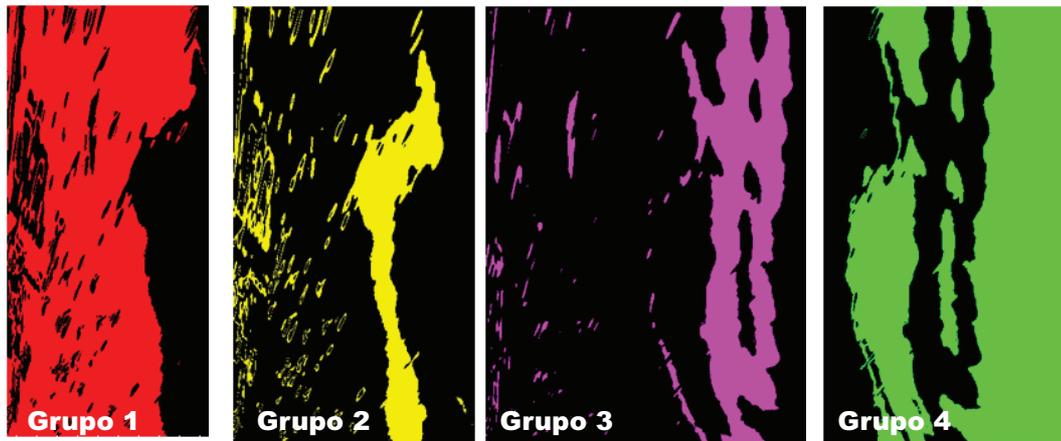


Figura 4.10: Descomposición de la imagen clasificada del balneario de Monte Hermoso correspondiente al día 26-02-2010 en diferentes grupos que representan cada zona. Zona de playa seca (rojo), zona de playa húmeda (amarillo), zona de rompientes (magenta), zona de lavado y agua (verde).

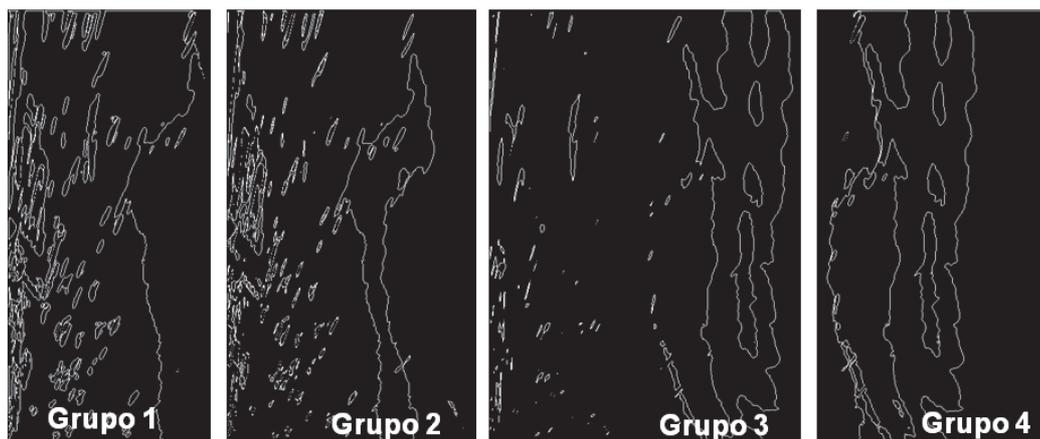


Figura 4.11: Estimación de bordes de cada grupo. Zona de playa seca (grupo 1), zona de playa húmeda (grupo 2), zona de rompientes (grupo 3) y agua (grupo 4).

El algoritmo propuesto para eliminar los conjuntos de píxeles que no corresponden a las zonas de playa, se basa en la detección del conjunto de contornos de las imágenes de cada grupo (Figura 4.11). La corrección se efectúa por medio de una selección de acuerdo al tamaño de cada contorno. Sólo el contorno exterior, de mayor área, es considerado para delimitar la zona correspondiente (Figura 4.12).

Por último, la imagen segmentada de la imagen original (Figura 4.7b.) se construye uniendo nuevamente las regiones filtradas (Figura 4.13). Cada una de las clases se visualiza con un color particular y las zonas que no pudieron ser clasificadas se mantienen en color negro. Dentro de la playa seca, estas zonas corresponden en su mayoría a las sombras de edificios que deben considerarse posteriormente. También la presencia de usuarios genera zonas sin clasificación, aunque en este caso se producen en forma dispersa e incluso sobre la playa húmeda.

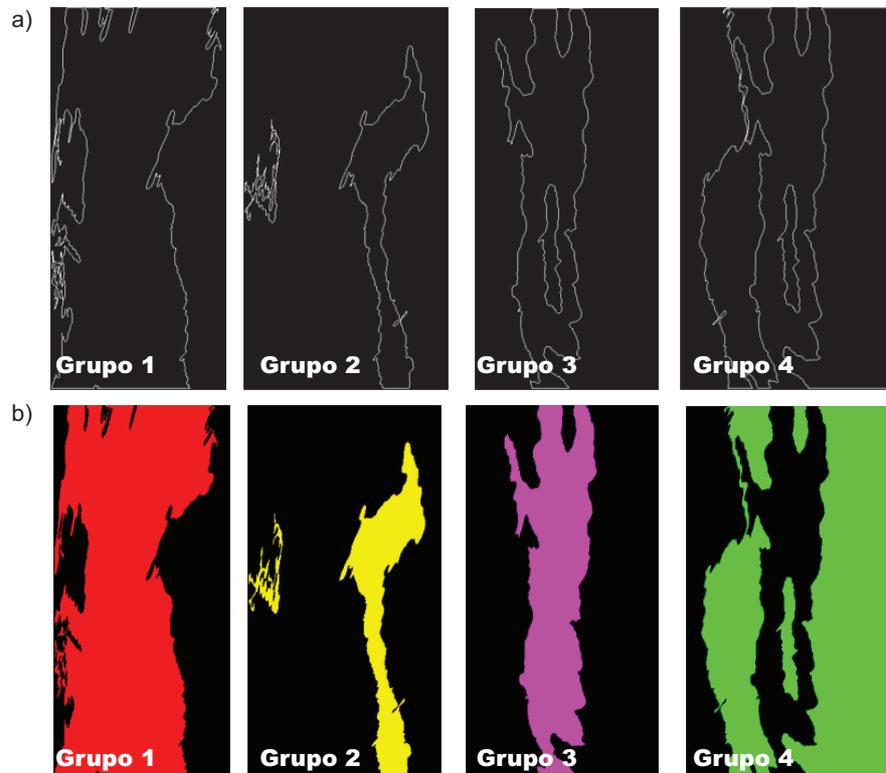


Figura 4.12: Corrección de la imagen segmentada de las zonas de playa del balneario de Monte Hermoso, 26-02-2010. a) Bordes de las áreas obtenidos luego del filtrado por tamaño. b) Zonas reconstruidas: zona de playa seca (rojo), zona de playa húmeda (amarillo), zona de rompientes (magenta), zona de lavado y agua (verde).



Figura 4.13: Imagen clasificada de las zonas de la playa despues de aplicar la metodología propuesta. Zona de playa seca (rojo), zona de playa húmeda (amarillo), zona de rompientes (magenta), zona de lavado y agua (verde).

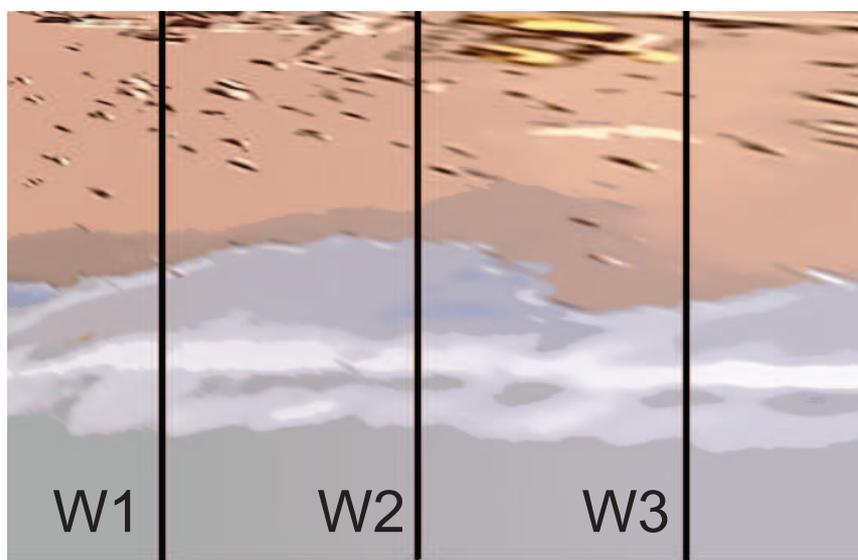
4.4.2. Medición de Ancho y Áreas de Playa

El área de cada clase es el tamaño de la región que representan sus elementos en la imagen completa. La aproximación más simple de este valor está dada por el número de píxeles que representan cada zona. Como ocurre en la determinación de perímetro, la aproximación simple carece de precisión en contornos curvos. Por este motivo, resulta útil la representación de contornos mediante códigos de cadena, a partir de los cuales el cálculo de área se realiza con algoritmos de integración numérica Tabla 4.1.

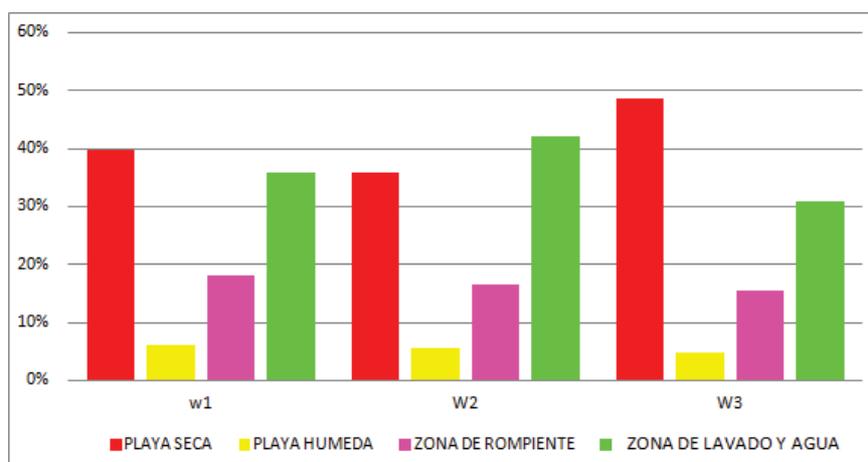
Zona	Área
Playa seca	14984 m^2
Playa húmeda	3512 m^2
Zona de rompientes	6576 m^2
Agua	15742 m^2

Tabla 4.1: Valores de áreas de la playa.

Otra característica de interés en la playa es el ancho de los diferentes sectores a través de perfiles (Figura 4.14a). Esta información puede ser extraída a partir de la clasificación realizada previamente. En forma específica, el ancho de cada zona está determinado por el punto de interacción entre regiones continuas. Si esta información es registrada en una secuencia de video, es posible realizar un análisis de la evolución temporal de dicha característica en diferentes perfiles (Figura 4.14b).



a)



b)

Figura 4.14: Perfiles de playa del balneario de Monte Hermoso del día 26-02-2010. a) Ubicación de los perfiles W1, W2, W3. b) Variación porcentual de los perfiles según las diferentes áreas.

Capítulo 5

Clasificación de Usuarios de Playa

En este capítulo se desarrolla una metodología con técnicas y métodos de PDI para la detección de personas en la playa en imágenes medias e instantáneas. En primer lugar, se describen dos metodologías de segmentación basadas en técnicas supervisadas y no supervisadas. Más específicamente, se presentan dos métodos: uno basado en *K-means* y, otro que utiliza una adaptación del algoritmo de clasificación por grupos de píxeles prototipos. En segundo lugar, se detalla una estructura de filtrado para reducir los errores de la segmentación y finalmente contabilizar la cantidad de personas en la playa.

5.1. Antecedentes

Debido al impacto negativo sobre el medio ambiente que causa la densa concentración de personas, las costas sujetas a ocupación turística descontrolada y sin planificación previa son las de mayor riesgo. La saturación de recursos de la playa como consecuencia de la presión humana se ha diversificado provocando la degradación de estos ambientes (Osorio Arias et al., 2007). El estudio de la interacción de la población en ambientes costeros es un factor clave para establecer políticas de gestión de recursos, seguridad y salud, entre otras. La información relacionada con las pautas de uso de la playa es una

herramienta fundamental para el manejo costero, donde el concepto de capacidad de uso se ha convertido en un pilar importante.

Dentro de las ciencias sociales, la capacidad de carga de la playa (CCP) es un tema de investigación en crecimiento (Graefe et al., 1984), (Shelby y Heberlein, 1984), (Stankey y McCool, 1984). Ésta permite obtener una medida numérica del límite de actividades económicas y humanas que pueden ser sustentables por el medio ambiente. Varios factores influyen en el manejo y planeamiento de las playas. Sin embargo no existe lugar a duda que, en términos de uso, el principal componente es la CCP. La importancia fundamental de este indicador es que, mientras el uso recreacional se intensifica, la calidad de satisfacción de los usuarios disminuye. La masificación de turismo mencionada anteriormente, cuyos comienzos datan de 1960, motivó varios estudios de CCP que fueron esenciales para proveer índices de utilización (Pereira da Silva, 2002).

La definición de CCP es la relación entre el área de arena disponible y el criterio de ocupación de la playa. No obstante, existen factores que tienen una influencia adicional sobre su aplicación. Entre ellos se pueden mencionar:

- Alrededores: accesibilidad, lugar de estacionamiento, capacidad hotelera, infraestructura e instituciones públicas.
- Playa: acceso, profundidad, rango de mareas, ancho de la playa, limpieza, seguridad y condiciones del mar.
- Factores externos: condiciones meteorológicas, estaciones, día, hora y expectativas de los usuarios.

Algunos estudios usan imágenes satelitales para determinar el área disponible de la playa y luego usar este factor para calcular la CCP. En base a este valor, es necesario determinar la cantidad de personas para evaluar el impacto sobre la playa, lo cual no es una tarea sencilla que se pueda realizar de manera precisa ni en períodos de tiempo cortos. El proyecto HORUS es el pionero en el empleo de imágenes instantáneas de cámaras de videos

para la estimación de la distribución de usuarios en un sector de la playa (Osorio Arias et al., 2007).

La metodología presentada en el capítulo anterior permite calcular la CCP teniendo en cuenta las variaciones de áreas de acuerdo a las condiciones de la playa. En este capítulo se propone la estimación de la cantidad de personas en imágenes medias e instantáneas. La combinación de ambas propuestas tiene como objetivo establecer las condiciones de uso de la playa, de acuerdo a criterios de uso intensivo, medio y bajo. Estos criterios corresponden a los establecidos por la Norma Cubana para el Ordenamiento de las Áreas de Playa (1988) descriptos en la Figura 5.1. La estimación de la cantidad de personas se realiza empleando técnicas de PDI basadas en un método supervisado y no supervisado. Más específicamente se usa el método de clasificación por grupos de píxeles prototipos propuesto en el capítulo II y el método de agrupamiento *K-means*.

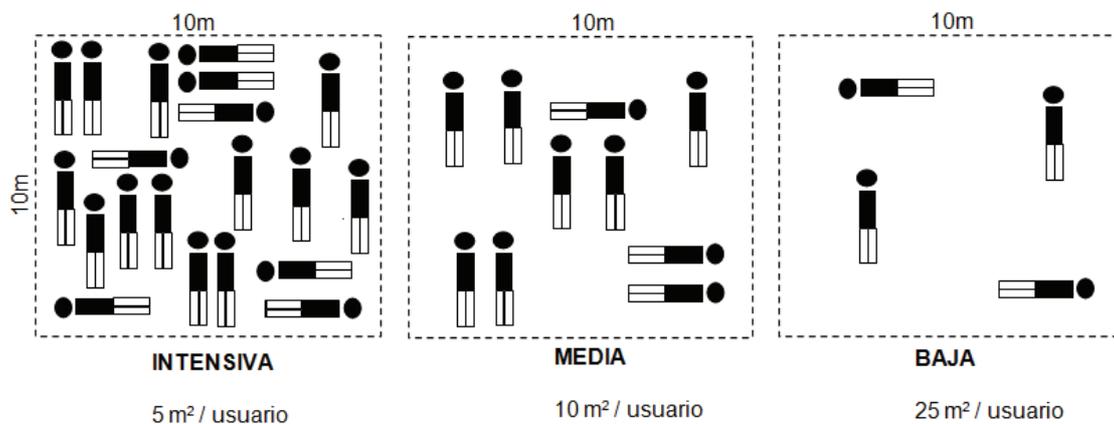


Figura 5.1: Criterios de ocupación de la zona de exposición solar para tres condiciones: intensiva, media y baja. Fuente: Norma Cubana para el Ordenamiento de las Áreas de Playa (1988).

5.2. Segmentación no Supervisada de Usuarios de Playa

5.2.1. Algoritmos de Agrupamiento

Las estrategias de agrupamiento de datos intentan clasificar los píxeles de acuerdo a ciertas características comunes. Entre ellos, *K-means* permite agrupar un conjunto de elementos de entrada en forma no supervisada en clases o grupos de acuerdo a los valores de dichos elementos.

Dado un conjunto de elementos (x_1, x_2, \dots, x_n) , donde cada elemento es un vector real de d -dimensiones, *K-means* intenta particionar las n observaciones en k conjuntos $S = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}$ ($k \leq n$) para minimizar la suma cuadrática de distancias dentro de todos los clusters:

$$\arg \min_S \sum_{i=1}^k \sum_{x \in S_i} \|x_j - \mu_i\|^2 \quad (5.1)$$

donde μ_i es el centroide de los elementos en S_i .

Dado un conjunto inicial de k centroides $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$ el algoritmo funciona alternado entre los siguientes dos pasos:

Paso de asignación: asigna cada elemento al grupo con el centroide más cercano

$$S_i^{(t)} = \left\{ x_p : \|x_p - \mu_i^t\| \leq \|x_p - \mu_j^t\| \forall 1 \leq j \leq k \right\} \quad (5.2)$$

donde cada x_p es asignado a uno y sólo uno de los grupos $S_i^{(t)}$.

Paso de actualización: se calculan los nuevos centroides de cada grupo

$$\mu_i^{(t+1)} = \frac{1}{|S_i^{(t)}|} \sum_{x_j \in S_i^{(t)}} x_j \quad (5.3)$$

El algoritmo tiene convergencia asegurada en el momento en que no se producen modificaciones en la composición de los grupos.

Diversos métodos intentan mejorar el algoritmo *K-means* standard dependiendo de varios propósitos de estudio (Malyszko y Wierzchon, 2007). Básicamente, la inicialización requiere más atención comparada con los otros pasos. Las referencias para inicializar los algoritmos *K-means* indican, en su mayoría, la elección de los puntos aleatoriamente (Redmond y Heneghan, 2007). Otro enfoque introduce un prototipo de una estrategia de aprendizaje *online* para determinar un conjunto de semillas de grupo iniciales (MacQueen, 1967). También se sugiere seleccionar la primera semilla como la que se encuentre en la instancia ubicada más cerca del centro (Bradley y Fayyad, 1998).

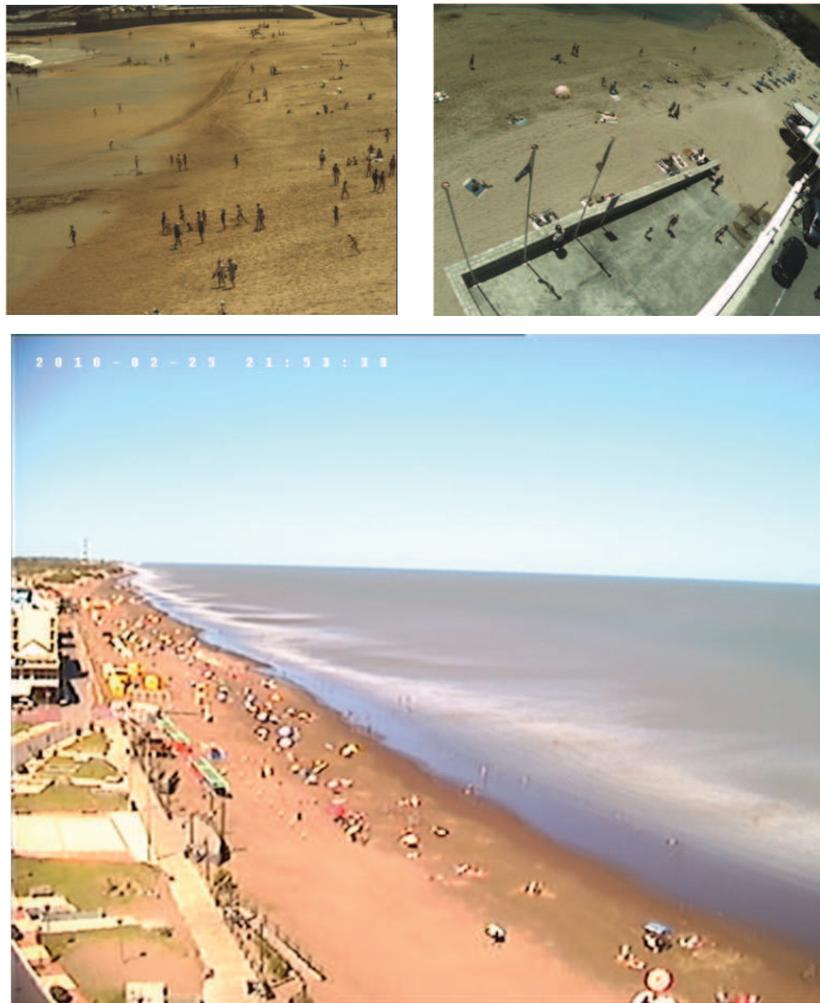


Figura 5.2: Imágenes de prueba para la detección de usuarios. Arriba: imágenes instantáneas. Abajo: imagen media.

5.2.2. Aplicación a Imágenes de Playa

En esta estrategia, la detección de personas en la playa se realiza sobre imágenes medias, las cuales representan usuarios que permanecieron sobre la playa en el período de muestra, así como en imágenes instantáneas, cedidas por cortesía del Proyecto HORUS (Figura 5.2). Para reducir tiempo y costo de procesamiento se selecciona sólo el área de interés donde se encuentran los usuarios en la imagen instantánea (Figura 5.4) y media (Figura 5.3). La misma se encuentra georreferenciada, lo que permite poder ubicar espacialmente cada persona que sea detectada por el algoritmo.



Figura 5.3: Selección de área de interés en imagen media para la segmentación de personas en la playa de Monte Hermoso.



Figura 5.4: Selección de área de interés en imagen instantánea para la segmentación de personas en la playa de La Magdalena, España ($43^{\circ} 28' 10.33''$ N, $3^{\circ} 46' 32.41''$ O).

En primera instancia la imagen es segmentada usando *K-means*. Inicialmente se establece la cantidad de grupos. La descripción de cada grupo consiste en la definición de las características que lo identifican, en base a los valores de los píxeles patrones. Se contabiliza un grupo para cada una de las zonas de la playa visibles dentro de esta región y se adiciona uno para la representación de las personas. Luego se inicializan los valores de intensidad de la semilla de cada grupo en forma aleatoria.

Empleando cuatro grupos en la ejecución del algoritmo sobre imágenes instantáneas, se obtiene una segmentación similar a la mostrada en la Figura 5.5. El grupo clasificado en rojo representa las personas, pero se puede apreciar que existen zonas espurias, e incluso la zona de agua es asociada a dicho grupo. Para imágenes medias y de menor resolución

es posible realizar la segmentación en base a cuatro clases (Figura 5.6). En este caso, la clasificación corresponde a individuos que permanecieron en la playa sin desplazarse durante el período muestreado.

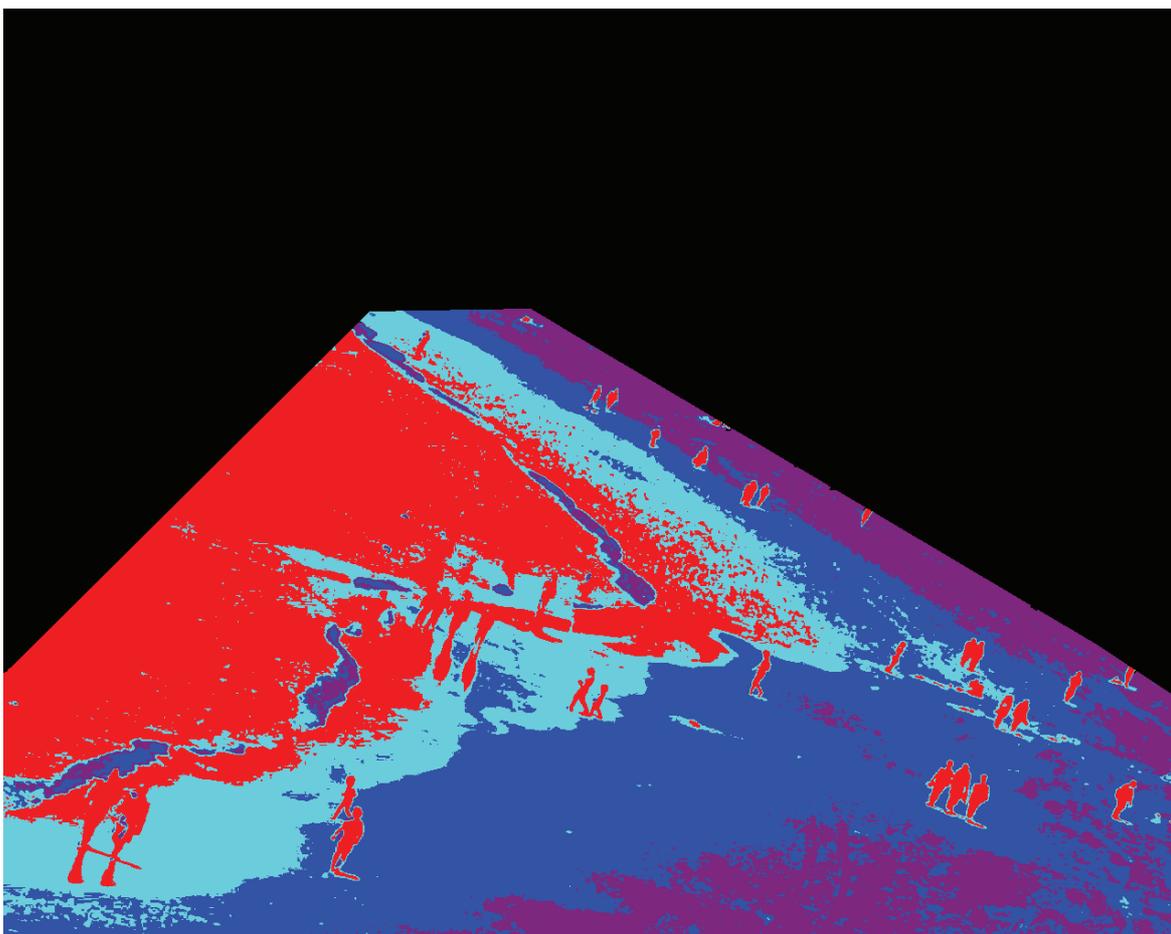


Figura 5.5: Segmentación de personas con el algoritmo *K-means*. Ejemplo de aplicación sobre la imagen instantánea de la Figura 5.4. Las personas son clasificadas en color rojo.

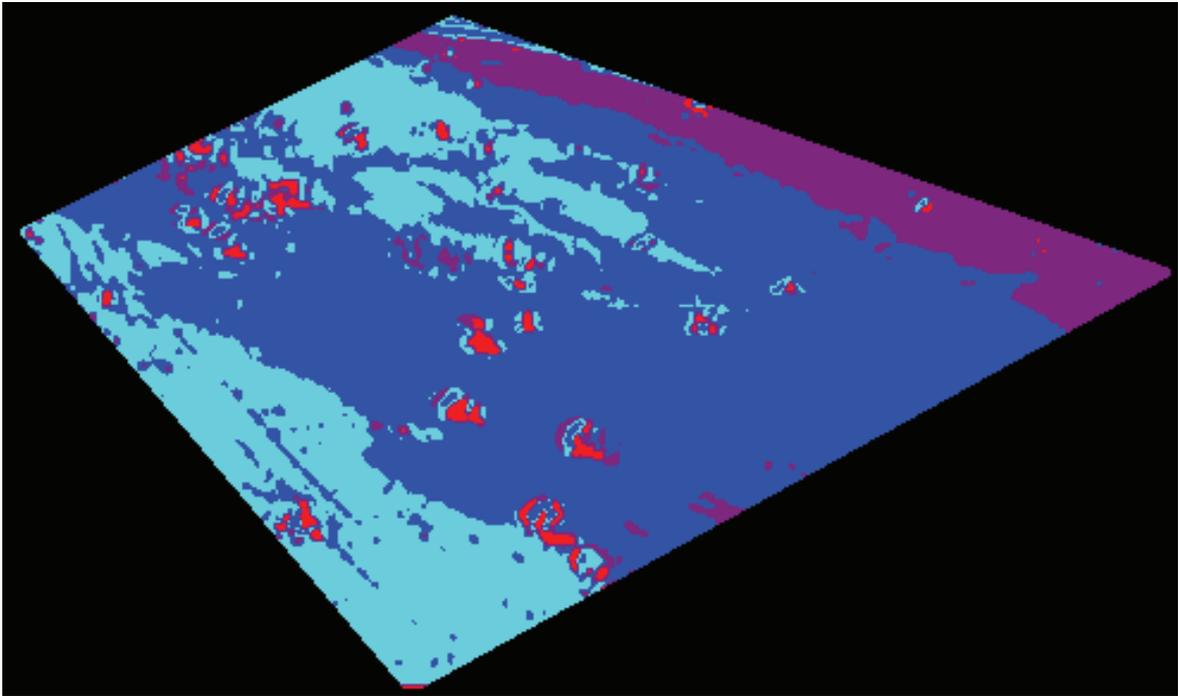


Figura 5.6: Segmentación de personas con el algoritmo *K-means*. Ejemplo de aplicación sobre la imagen media de la Figura 5.3. Las personas son clasificadas en color rojo.



Figura 5.7: Selección de grupos de píxeles prototipos para la segmentación de personas. El rectángulo magenta corresponde al prototipo del grupo de usuarios.

5.3. Segmentación Supervisada de Usuarios de Playa

El algoritmo de clasificación a grupos de píxeles prototipos, desarrollado en el capítulo previo, se puede aplicar también para la detección de usuarios. Conjuntos de píxeles prototipos de cada grupo son seleccionados en forma supervisada. Sobre la imagen que se

desea segmentar, se definen grupos de píxeles representativos de cada grupo (Figura 5.7). Para el ejemplo mostrado se consideran cuatro prototipos, identificando tres regiones entre sectores de agua y arena, más uno de usuarios.

A diferencia de la técnica no supervisada, esta metodología requiere la definición de la cantidad y la caracterización de los grupos. De esta manera, los rasgos de cada clase se establecen por única vez y no son modificados durante la ejecución del algoritmo, dado que la segmentación no requiere iteraciones.

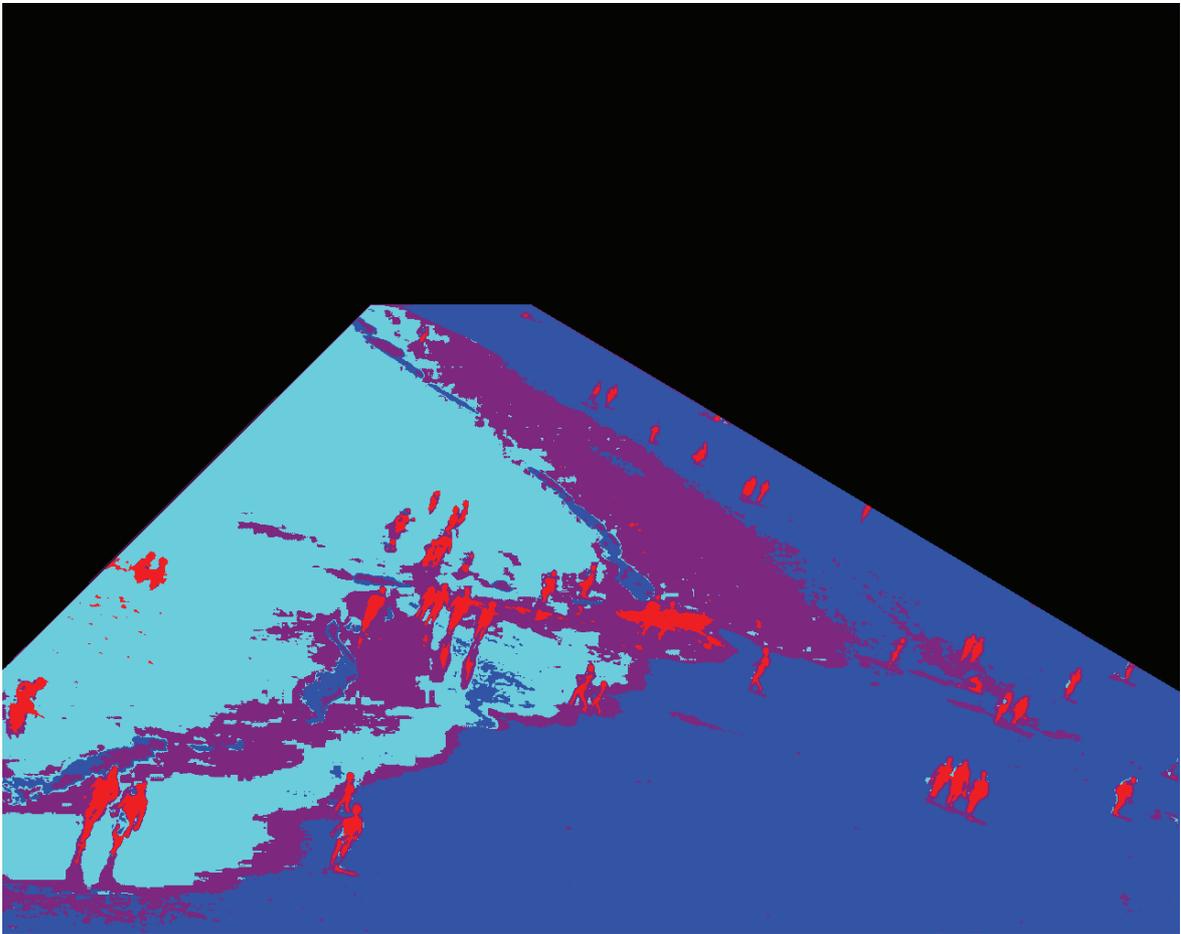


Figura 5.8: Segmentación de personas con el algoritmo de grupos de píxeles prototipos. Ejemplo de aplicación sobre la imagen instantánea de la Figura 5.4. Las personas son clasificadas en color rojo.

En el caso de imágenes instantáneas, la selección de cuatro grupos con esta técnica produce una segmentación similar a la mostrada en la Figura 5.8. Nuevamente los usuarios son identificados con el color rojo, pero puede observarse que la región de agua es segmentada correctamente y se logra reconocer usuarios dentro de ella. Sin embargo, la cantidad de zonas espurias es notable y no todos los usuarios son encontrados.

Sobre imágenes medias, la segmentación usando tres grupos genera resultados como el mostrado en el ejemplo de la Figura 5.9. En este caso se definen tres grupos dado que la región de interés no incluye sectores de agua, sólo se consideran las zonas de playa seca y playa húmeda. Para este ejemplo, el nivel de errores es bajo tanto en la cantidad de usuarios encontrados como en la cantidad de zonas espurias.

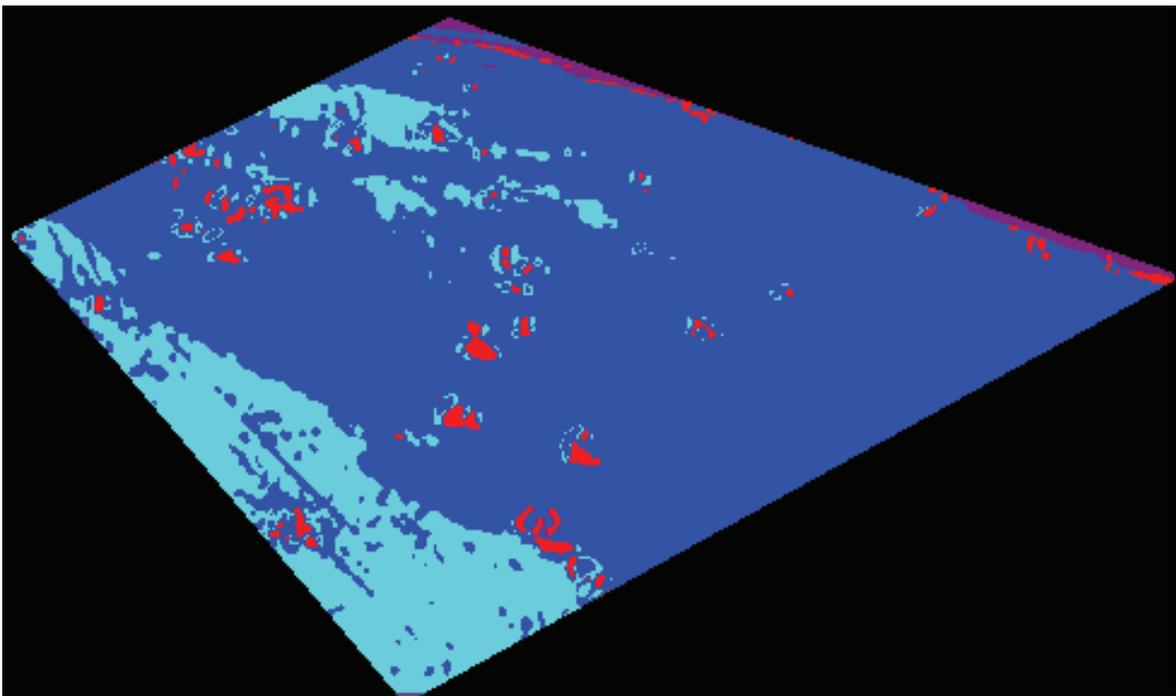


Figura 5.9: Segmentación de personas en imágenes con el algoritmo de grupos de píxeles prototipos. Ejemplo de aplicación sobre la imagen media de la Figura 5.3. Las personas son clasificadas en color rojo.

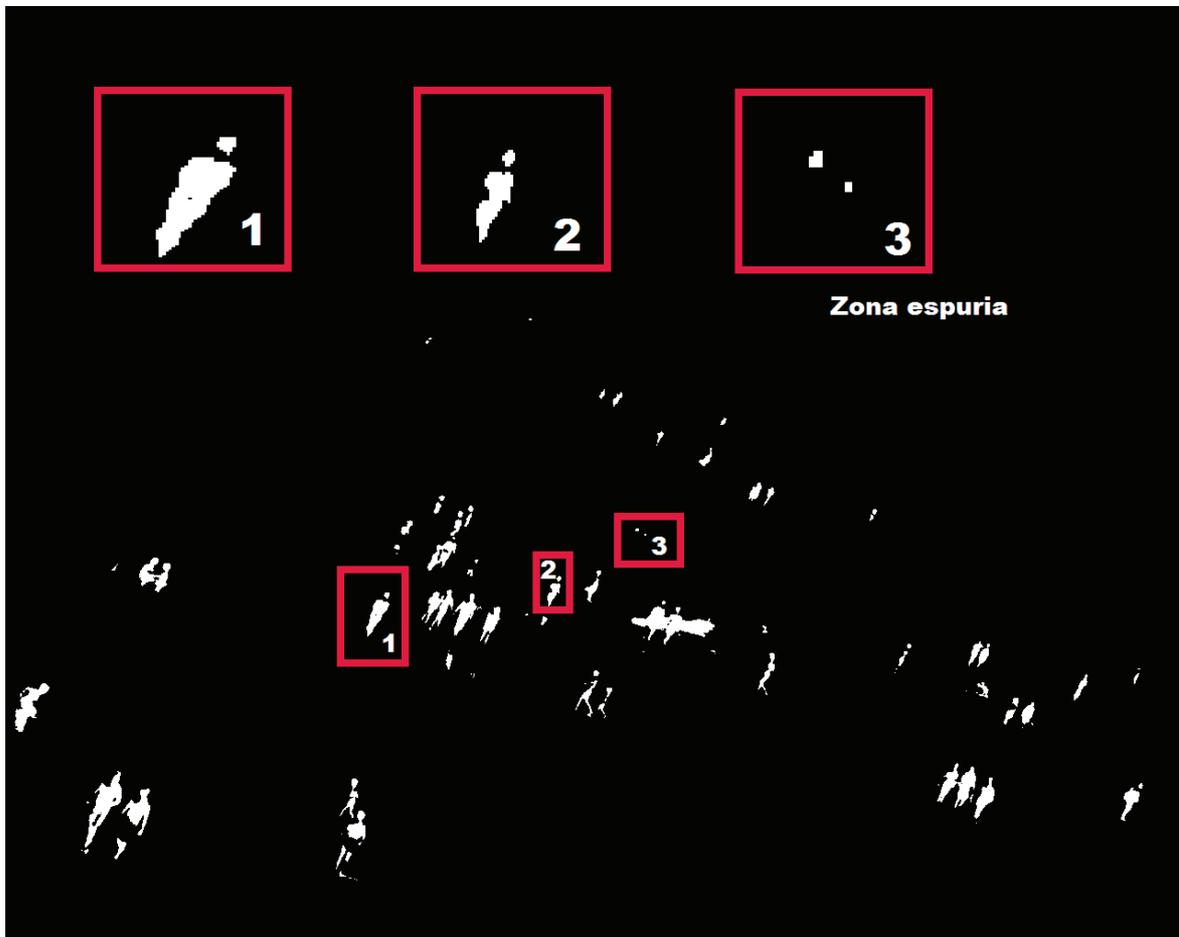


Figura 5.10: Zonas espurias después de la segmentación.

5.4. Determinación de la Cantidad de Personas en la Playa

Independientemente de la técnica empleada, la segmentación genera asociaciones de píxeles que, representados en forma de imagen binaria, deben producir formas que se asemejen a la silueta de las personas presentes en la imagen. Sin embargo, este resultado es útil sólo a nivel visual y no puede ser empleado directamente para contar la cantidad de usuarios. Las personas no identificadas en el proceso de segmentación (verdaderos negativos)

		Detección	
		Persona	No Persona
Objeto	Persona	33 (Verdaderos Positivos)	7 (Falsos Negativos)
	No Persona	58 (Falsos Positivos)	14 (Verdaderos Negativos)

Tabla 5.1: Resultado de la segmentación.

no pueden ser halladas con un procesamiento posterior. En contraparte, la identificación de un usuario puede generar más de un agrupamiento de píxeles (Figura 5.10). Estos últimos, junto a las zonas espurias, conforman los falsos positivos de la segmentación (Tabla 5.1).

A partir de este punto, se desarrolla una estructura de filtrado para la eliminación de falsos positivos. Dicha estructura se compone de operaciones levemente diferentes según se aplique en imágenes medias o instantáneas. Para el primer caso, teniendo en cuenta que el promedio suaviza la imagen media y sólo conserva las siluetas de las personas que permanecieron en una posición fija, el procesamiento empleado se compone de operadores de erosión y dilatación estándares. Mediante la erosión se intenta eliminar los agrupamientos pequeños de píxeles que no alcanzan el tamaño esperado para la forma de un usuario. La dilatación es empleada con el propósito de unir agrupamientos múltiples cercanos que puedan corresponder a una única persona.

Para el segundo caso, las siluetas de los usuarios presentan formas de mayor irregularidad. También la variación en la vestimenta influye negativamente en la segmentación, y en consecuencia se obtiene un mayor número de falsos positivos. Por este motivo, la eliminación de agrupamientos pequeños se realiza con operadores de erosión, pero la unión de agrupamientos cercanos requiere un procesamiento diferente. En forma específica, el elemento estructural para la dilatación es elegido de acuerdo al ángulo de inclinación de la cámara y su tamaño es establecido en base a la resolución de la imagen. Con esta modificación se intenta unir los agrupamientos en una dirección determinada, coincidente con la inclinación promedio con la que se observan los usuarios en la imagen.

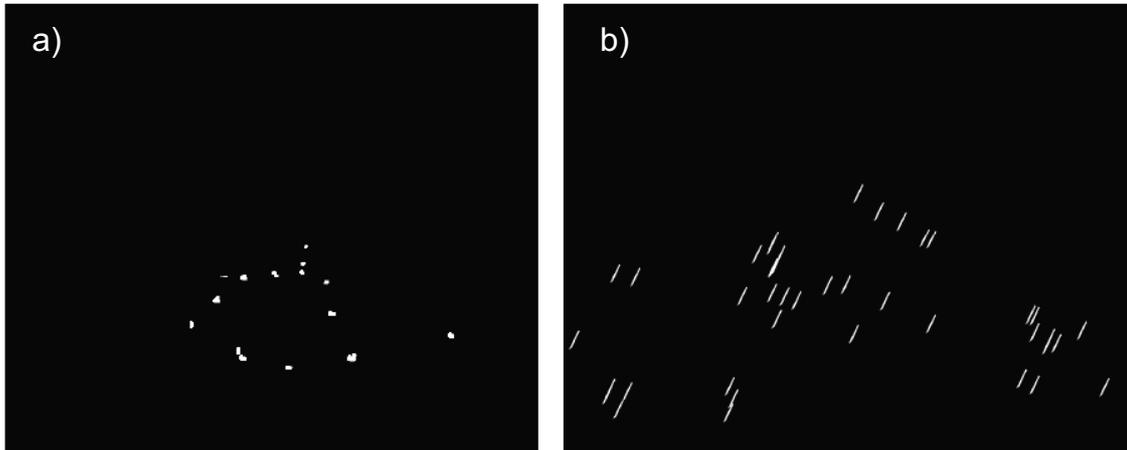


Figura 5.11: Imágenes filtradas. a) Imagen instantánea. b) Imagen media.

Como ejemplo del filtrado aplicado a imágenes medias se presenta el resultado de la Figura 5.11a., donde se observa la reducción de la cantidad de zonas espurias manteniendo el número de usuarios detectados. Por tratarse de una imagen media, los agrupamientos que corresponden a usuarios no presentan formas claramente definidas, sino que son generalmente borrosas.

En imágenes instantáneas y de mayor resolución se obtienen resultados similares a los de la Figura 5.11b. Para este ejemplo, el elemento estructural tiene una dimensión de 10×5 píxeles, con una inclinación aproximada de 60° . Esta elección permite unir píxeles ponderando la dirección deseada, de manera de evitar asociaciones de píxeles que corresponden a personas diferentes pero que se encuentran en posiciones cercanas.

Es importante destacar que este proceso no tiene como objetivo reconocer la silueta de cada individuo. Por lo tanto, no es de interés la forma que se asocie a cada uno de ellos. Más aún, se utiliza una etapa de procesamiento consistente en reducir estas formas y conservar un único punto ubicado en el centroide de las mismas. Esta información es suficiente para indicar la posición de cada persona y contabilizar el número total de usuarios que se observan en la playa.

El resultado final de la metodología presentada en este capítulo se ejemplifica en la Figura 5.12, correspondiente al caso de una imagen media, y en la Figura 5.13, correspondiente a una imagen instantánea. La cantidad total de individuos es indicada en la parte superior derecha de ambas figuras, mientras que se ha utilizado un círculo para representar a cada uno de los usuarios encontrados.



Figura 5.12: Segmentación de personas con el algoritmo propuesto en una imagen instantánea de la playa La Magdalena.

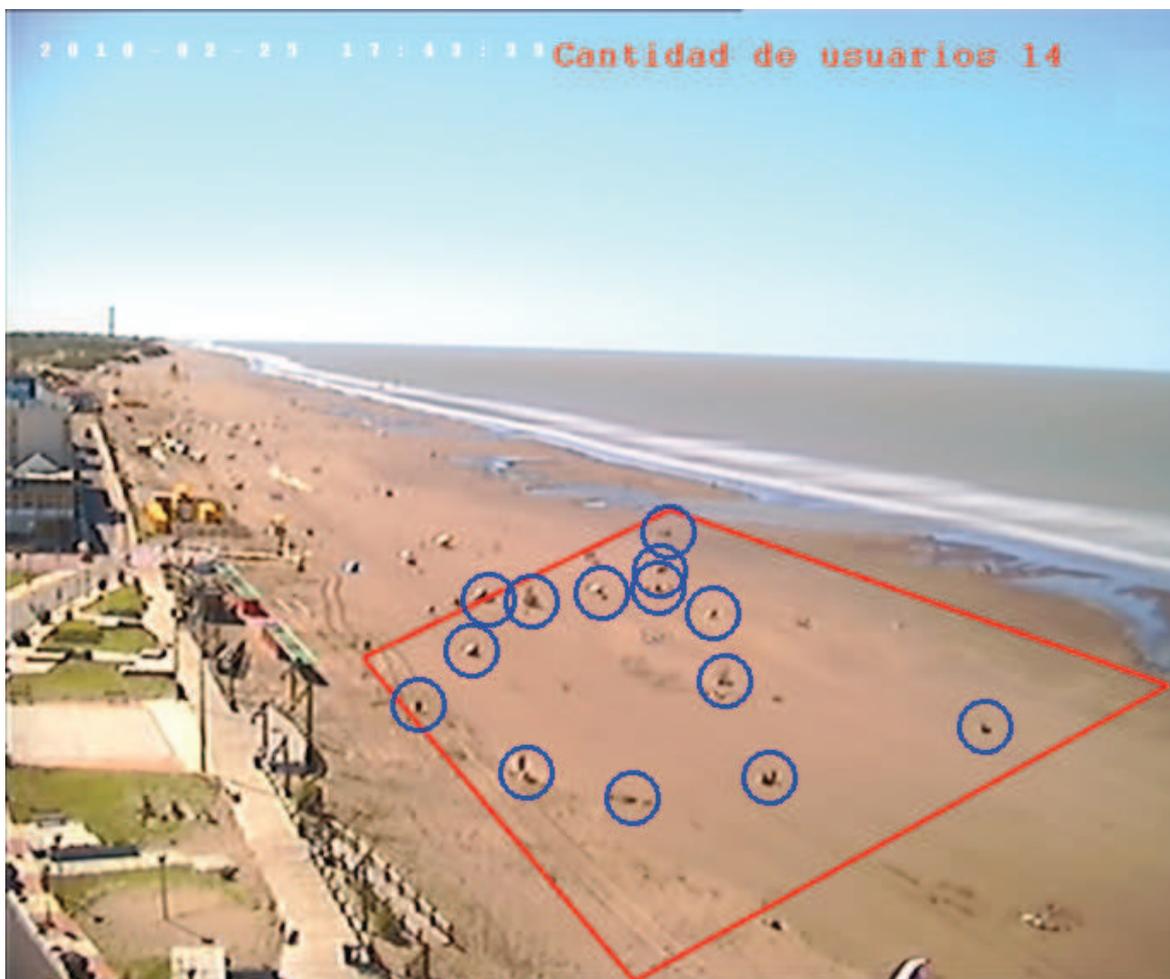


Figura 5.13: Segmentación de personas con el algoritmo propuesto en una imagen media correspondiente al balneario de Monte Hermoso.

Capítulo 6

Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos con las técnicas y métodos desarrollados en los capítulos previos de la presente tesis. Se trabaja con un conjunto de videos e imágenes de dos zonas de estudio, capturados en distintas fechas y bajo diferentes condiciones meteorológicas y oceanográficas.

6.1. Zona de Estudio

El conjunto de videos sobre los cuales se aplica la metodología desarrollada es capturado en las playas de las localidades de Monte Hermoso y Pehuén Co pertenecientes a la costa atlántica de la provincia de Buenos Aires. En ellas se observan cambios morfológicos que son consecuencia de diferentes fenómenos como lluvias, vientos o mareas. En los últimos años, estas playas se han convertido en destinos turísticos de gran desarrollo, por lo que realizar un monitoreo continuo de las mismas permitirá conocer su evolución tanto producto de los procesos naturales como de las influencias antrópicas sobre ellas.

En ambas zonas de estudio, con el fin de conocer sus características ambientales, se han realizado relevamientos mensuales de perfiles de playa (Bustos et al., 2011; Huamantincos Cisneros, 2012) e instalado estaciones meteorológicas. Mediante el monitoreo a partir

de cámaras se pretende obtener mayor información para registrar el estado de la playa bajo la influencia de eventos meteorológicos o presión humana.

Monte Hermoso se ubica en el Suroeste de la provincia de Buenos Aires, limita al norte y este con el partido de Coronel Dorrego, al sur con el océano Atlántico y al oeste con el partido de Coronel Rosales. El balneario Monte Hermoso ($61^{\circ} 15' 55''$ O, $38^{\circ} 59' 33''$ S) es la principal localidad del partido (Figura 6.1). Su costa posee una dirección general de este a oeste, con una extensión de 32 km entre Punta Sauce a 14 km al este del balneario y Punta Pehuén Co al oeste. La estructura general de la costa es de una amplia bahía entre ambos puntos, pobremente desarrollada en profundidad. Monte Hermoso se ubica sobre el extremo oeste de esta bahía (Huamantínco Cisneros, 2012).



Figura 6.1: Vista panorámica de la playa de Monte Hermoso (20-05-2009) obtenida desde el edificio en donde fue ubicada la cámara. Frente al área parquizada se ubica el sector analizado en cada una de las imágenes de la tesis.

El ancho aproximado de la playa es de 260 m, mientras que en algunos sectores céntricos de la ciudad es del orden de 160 m. El régimen de marea de Monte Hermoso es mesomareal de tipo semidiurno. Presenta desigualdades diurnas con una amplitud máxima de 3,58 m en sicigia y una media de 2,39 m. La altura máxima en pleamar es 3,62 m y la media 3,14 m, mientras que en bajamar, la altura más baja es 0,01 m y la media 0,74 m (Servicio de Hidrografía Naval Argentina, 2012).

El turismo es la principal actividad económica de la localidad (Vaquero y Pascale, 2003). Este rasgo ha favorecido el mantenimiento de la población estable y con ello la evolución de balneario a centro turístico, caracterizado por un uso intensivo del espacio litoral. Se convierte así en el centro turístico de mayor crecimiento y expansión del suroeste bonaerense (Vaquero et al., 2007), debido a que es uno de los destinos elegidos por turistas de todo el país. El amanecer y atardecer en el mar puede ser observado por sus visitantes debido a la dirección de su costa, de este a oeste. Esto permite a los turistas permanecer mucho más tiempo en la playa, ya que no existen conos de sombras excepto el aportado por los edificios cuando el sol se encuentra hacia el norte. La mayor afluencia de visitantes se verifica durante los meses estivales, destacándose el mes de enero.

La localidad de Pehuén Co se ubica al sudoeste de la provincia de Buenos Aires, en el partido de Coronel de Marina Leonardo Rosales. Este limita al norte con el partido de Coronel Dorrego, al este con el partido de Monte Hermoso, al sur con el océano Atlántico y al oeste con el partido de Bahía Blanca. El balneario Pehuén Co ($61^{\circ} 33' 16''$ O, $38^{\circ} 59' 51''$ S) es un atractivo turístico de Coronel Rosales (Figura 6.2).



Figura 6.2: Vista panorámica de la playa de Pehuén Co, 03-10-2011 adquirida desde el edificio donde se ubicó la cámara.

Se encuentra sobre una saliente conocida como Punta Pehuén Co, en la cual está emplazado el centro urbano. Esta característica le otorga rasgos especiales en cuanto a su dinámica y morfología costera. Por esta saliente se pueden distinguir en el área costera cuatro zonas: zona oeste (ZO), zona centro (ZC), zona este (ZE) y una zona donde se emplaza la Reserva Geológica, Paleontológica, Arqueológica y Natural Pehuén Co-Monte Hermoso (ZR) (Bustos et al., 2011).

Las capturas de videos se realizan en la zona centro que posee una orientación de oeste a este y presenta menor ancho de playa respecto al resto. En la zona mencionada existen estructuras similares a acantilados pero de mayor altura hacia el oeste y médanos hacia el este. Los médanos se encuentran vegetados con tamariscos. En las áreas con influencia urbana estos médanos han sido reemplazados por viviendas, bajadas peatonales

y paradores. La zona centro también posee afloramientos de roca que quedan descubiertos en época estival.

El desarrollo de este trabajo incluyó el estudio de la infraestructura para la instalación de las estaciones de monitoreo en las playas mencionadas. Diferentes construcciones fueron evaluadas debido a la necesidad de observar la playa desde una altura determinada. En Monte Hermoso la estación fue montada en el edificio Robertino (Figura 6.3 a). Esta construcción posee una altura de 30 m y desde allí se tiene una vista panorámica de la playa (Figura 6.1). En Pehuén Co se ubicaron las cámaras y equipos en una casa de la zona (Figura 6.3 b), donde se observa la playa desde 10 m de altura (Figura 6.2).



Figura 6.3: Ubicación de las cámaras de videos (puntos verdes) en los edificios seleccionados. a) Edificio Robertino en Monte Hermoso. b) Casa en Pehuén Co.

6.2. Imágenes Medias

En primera instancia se obtiene la imagen media calculada a partir de un video de cinco minutos de duración. A diferencia de otros proyectos de monitoreo costero basados en técnicas de video, se procesa una mayor cantidad de fotogramas para obtener la imagen

Proyecto	Fotogramas por segundo	Fotogramas por 5 minutos
<i>Proyecto Propuesto</i>	15	4500
<i>Argus</i>	1	300
<i>Horus</i>	1	300

Tabla 6.1: Comparación de fotogramas procesados.

media (Tabla 6.1). El análisis de ciertas particularidades de la playa, algunas no visibles en imágenes instantáneas, se puede llevar a cabo a partir de este tipo de imagen. Entre las particularidades observadas se destacan las formas de la línea de ribera, las corrientes o canales, los afloramientos, las zonas de playa seca, de playa húmeda, de lavado y de rompiente, entre otras. Además, se puede visualizar la presencia de visitantes a la playa en el sector analizado.

Las playas son sistemas complejos, donde las formas de la costa en muy pocas ocasiones son rectas o de curvas suaves (Komar, 1998). Ejemplos de este tipo de características se observan en la playa de Pehuén Co la que presenta líneas de ribera con curvas regulares (Figura 6.4 a y b). Mientras que en la playa de Monte Hermoso, se visualizan curvas de mayor irregularidad (Figura 6.4 c y d). En ambas playas se aprecia visualmente la variación de la zona de rompientes para las fechas consideradas. Las características descritas se deben a la forma en que se propagan los lóbulos de lavado ascendente, que dependen de la pendiente de la playa y, principalmente, a la presencia de ondas de borde. Estas últimas, durante eventos extremos, ocupan parte importante del espectro de energía en la zona de rompientes (Lippmann et al., 1997; Constantin, 2001), región en la que la dinámica de sedimentos es más intensa y donde se producen los mayores cambios en la evolución costera (Avila et al., 2008).



Figura 6.4: Diferentes formas de la línea de ribera causadas principalmente por ondas de borde. a y b): Curvilíneas regulares de la playa de Pehuén Co. c y d): Curvilíneas irregulares correspondientes al balneario Monte Hermoso.

El concepto de ondas estacionarias ayuda al entendimiento de muchas de las características morfodinámicas que suceden en los ambientes costeros como las corrientes de retorno (Bowen y Inman, 1969), las formas de medialunas de playa (Guza y Inman, 1975), las barras en forma de media luna (Bowen y Inman, 1971) o las barras longitudinales múltiples (Short, 1975).

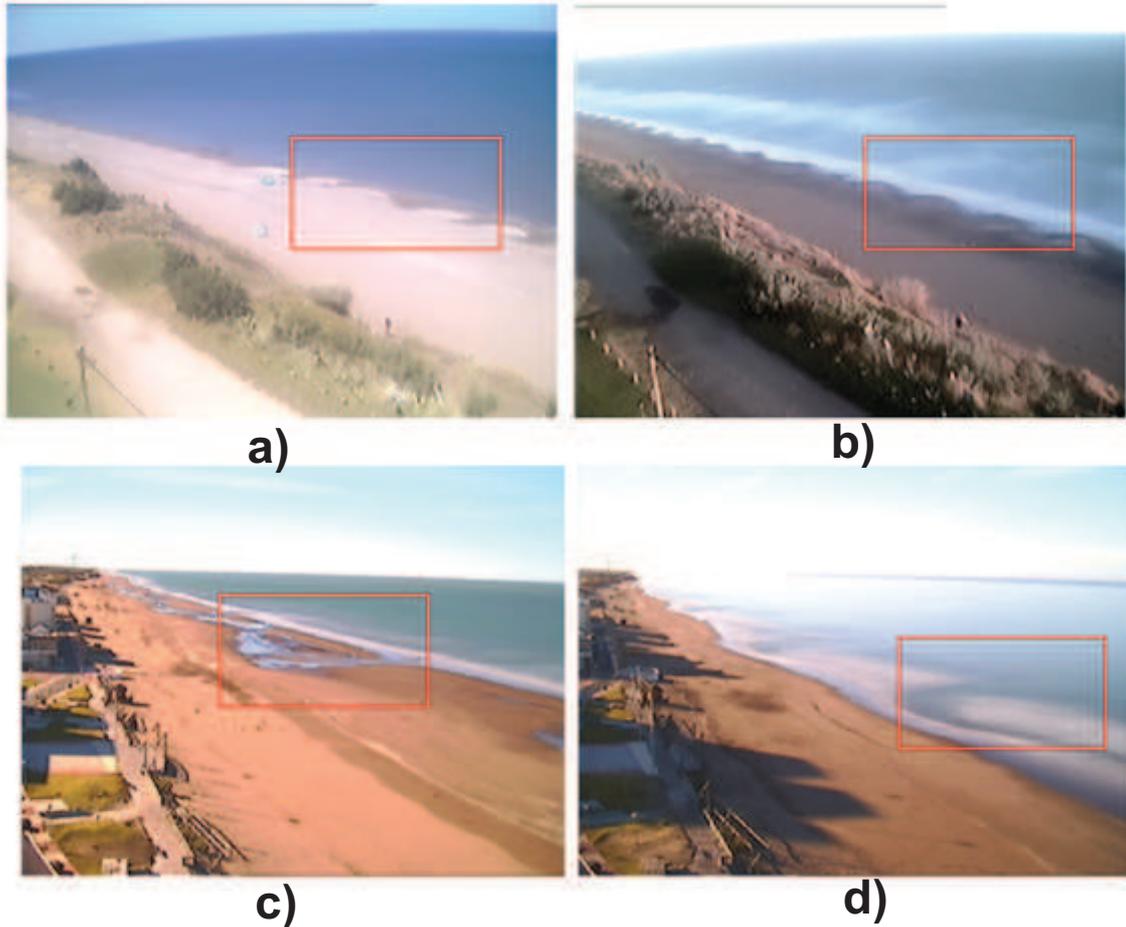


Figura 6.5: Ejemplos de las características de la playa identificadas en las imágenes medias analizadas (recuadro rojo). En Pehuén Co se observan medialunas de playa en los días a) 07-02-2011 y b) 15-02-11. En Monte Hermoso se identificó la formación de canales el día c) 27-04-1010 y la presencia de canales el d) 20-05-2010.

Existen playas que presentan formas de medialunas en la interacción entre el mar y continente, cuyos depósitos de arena se extienden en formas curvilíneas regulares hacia el mar. Estas formaciones de arena comúnmente se encuentran uniformemente espaciadas (Komar, 1998). Un ejemplo de estas características rítmicas se observa en imágenes medias de la playa de Pehuén Co de los días 7 y 15 de febrero de 2011. En ambas, las medialunas están regularmente espaciadas (Figura 6.5 a y b).

Otra característica distinguible en este tipo de imágenes son los canales, que presentan variedad en formas. Su identificación, en forma cualitativa, es una herramienta útil para brindar información que sirva de alertas para nadadores ya que son un potencial peligro para la población.

Por esta causa se reportan anualmente elevados índices de mortalidad en playas de todo el mundo. Sin embargo, también presentan beneficios, dado que producen el intercambio de agua en el borde de la costa. En los ejemplos considerados se puede denotar el proceso de formación de un canal normal (Figura 6.5 c) y un canal paralelo a la costa (Figura 6.5 d).

Se debe señalar que en la playa de Pehuén Co, afloran rocas de edad terciaria representando el frente de costa durante un nivel más alto del mar. Los afloramientos de rocas están sometidos a un proceso constante de cubrimiento y descubrimiento con arena, que condiciona su visibilidad en diferentes épocas del año. Las imágenes medias presentan una ventaja en el estudio de este tipo de características ya que permiten la observación de su presencia en forma cualitativa. Además, a través de múltiples imágenes, es posible apreciar su distribución y el área que poseen cuando están al descubierto.

La secuencia mostrada a continuación corresponde a los meses de febrero y septiembre del 2011 y marzo del 2012 (Figura 6.6). En todo el conjunto de imágenes son visualmente notables las variaciones en la distribución y el área de los afloramientos mencionados. Un ejemplo es el observado el día 27 de septiembre de 2011 donde se aprecia el afloramiento cubierto por algas.



Figura 6.6: Ejemplos de imágenes medias donde se observan afloramiento de rocas correspondientes a los meses de febrero y septiembre de 2011 y marzo de 2012 en la localidad de Pehuén Co.

Con el propósito de mostrar los cambios morfológicos causados por ondas de borde, viento y mareas se combina una secuencia de imágenes medias de la playa de Monte Hermoso en diferentes fechas con información de las condiciones meteorológicas de cada momento. Los parámetros considerados son temperatura del aire, humedad, radiación solar, dirección y velocidad del viento.

El día 7 de septiembre de 2009 presentó temperaturas superiores a $7\text{ }^{\circ}\text{C}$, alto porcentaje de humedad y vientos superiores a 44 km/h (Figura 6.7; Tabla 6.2). En el día 26 de febrero del 2010 se determinaron temperaturas superiores a $23\text{ }^{\circ}\text{C}$, porcentaje bajo de humedad y vientos superiores a 14 km/h dominantes del NO (Figura 6.8; Tabla 6.3). El día 17 de Abril del 2010 se caracterizó por temperaturas superiores a $14\text{ }^{\circ}\text{C}$, un menor porcentaje de humedad y vientos del O (Figura 6.9; Tabla 6.4). El 6 de Mayo de 2010 registró temperaturas inferiores a $12\text{ }^{\circ}\text{C}$, alto porcentaje de humedad y vientos superiores a los 37 km/h del SSO (Figura 6.10; Tabla 6.5). En los días indicados no se registraron precipitaciones.

La influencia de las condiciones meteorológicas descritas se corresponden con las características visuales de la playa observadas en las imágenes medias. En lo que se refiere a zonas de la playa el efecto del viento, las condiciones de marea y las características de las olas causan diferentes tamaños y formas en la zona de rompientes. Una amplia zona de rompientes puede observarse en la figura del día 7 de septiembre de 2009 donde los vientos procedentes del SSE y SE fueron de mayor intensidad respecto a lo analizado en el resto de los días. También es posible notar las diferentes formas en regularidad en las curvas que representan la línea de ribera. Vientos de mayor velocidad ocasionan curvas de mayor irregularidad.

Los días 5 y 6 de febrero de 2010 corresponden a la playa de Pehuén Co. El primer día presentó temperaturas superiores a $41\text{ }^{\circ}\text{C}$, menor porcentaje de humedad y vientos del SSE (Figura 6.11; Tabla 6.6). El segundo día registró temperaturas superiores a $22\text{ }^{\circ}\text{C}$, menor porcentaje de humedad y vientos del SE (Figura 6.12; Tabla 6.7).

Hora	T. A. ($^{\circ}C$)	H. (%)	R. S. (w/m^2)	D. V.	V. V. (km/h)	A. M. (m)
12 : 00	8	96	75	<i>SSE</i>	44,2	1,74
12 : 20	8	95	67	<i>SSE</i>	47,1	1,44
14 : 05	7,6	99	41	<i>SE</i>	54,9	0,84
14 : 35	7,2	98	45	<i>SE</i>	52,6	1,04
14 : 45	7,4	98	47	<i>SE</i>	54,1	1,11
15 : 05	7,3	98	63	<i>SE</i>	59,8	1,21

Tabla 6.2: Condiciones meteorológicas del día 07-09-2009 en el balneario de Monte Hermoso. Los parámetros considerados son: temperatura del aire (T. A.), humedad (H.), radiación solar (R. S), dirección del viento (D. V.), velocidad del viento (V. V.) y altura de marea (A. M.).



Figura 6.7: Variación de la playa de Monte Hermoso durante el día 07-09-2009 en donde se observan visualmente las diferentes zonas de la playa.

Hora	T. A. ($^{\circ}C$)	H.(%)	R. S. (w/m^2)	D. V.	V. V. (km/h)	A. M. (m)
10 : 45	23,4	38	589	<i>NNO</i>	16,9	0,98
11 : 20	24,3	37	664	<i>ONO</i>	17,9	1,11
11 : 40	24,5	35	701	<i>ONO</i>	19,9	1,28
12 : 05	25,1	33	747	<i>ONO</i>	14,9	1,54
14 : 15	27,7	30	770	<i>O</i>	17,1	2,17
14 : 35	26,9	32	756	<i>NO</i>	23,1	2,47

Tabla 6.3: Condiciones meteorológicas del día 26-02-2010 en el balneario de Monte Hermoso. Los parámetros considerados son: temperatura del aire (T. A.), humedad (H.), radiación solar (R. S), dirección del viento (D. V.), velocidad del viento (V. V.) y altura de marea (A. M.).



Figura 6.8: Variación de la playa de Monte Hermoso durante el día 26-02-2010, donde se aprecia visualmente la presencia de personas. Además se observa la formación de canales normales a la costa.

Hora	T. A. ($^{\circ}C$)	H.(%)	R. S. (w/m^2)	D. V.	V. V. (km/h)	A. M. (m)
09 : 05	14,6	75	53	ONO	15,1	2,76
10 : 00	18,1	61	413	O	12,8	2,48
11 : 00	20,5	34	153	OSO	16	2,20
12 : 00	18,7	42	171	SO	12,3	1,64
13 : 00	20,5	34	617	SO	17,9	1,36
14 : 00	21	39	586	SO	12,1	1,08

Tabla 6.4: Condiciones meteorológicas del día 17-04-2010 en el balneario de Monte Hermoso. Los parámetros considerados son: temperatura del aire (T. A.), humedad (H.), radiación solar (R. S), dirección del viento (D. V.), velocidad del viento (V. V.) y altura de marea (A. M.).



Figura 6.9: Variación de la playa de Monte Hermoso durante el día 17-04-2010 en donde se aprecia visualmente la formación de canales paralelos a la costa.

Hora	T. A. ($^{\circ}C$)	H.(%)	R. S. (w/m^2)	D. V.	V. V. (km/h)	A. M. (m)
10 : 50	11,1	59	397	SSO	37,6	2,00
11 : 05	11	58	432	SSO	39,8	2,04
11 : 15	11,3	61	448	SSO	37,4	2,14
11 : 20	11,3	58	456	SSO	40,4	2,40
11 : 25	11,4	59	468	SSO	37,8	2,60
11 : 30	11,4	60	475	SSO	37,6	2,90

Tabla 6.5: Condiciones meteorológicas del día 06-05-2010 en el balneario de Monte Hermoso. Los parámetros considerados son: temperatura del aire (T. A.), humedad (H.), radiación solar (R. S), dirección del viento (D. V.), velocidad del viento (V. V.) y altura de marea (A. M.).

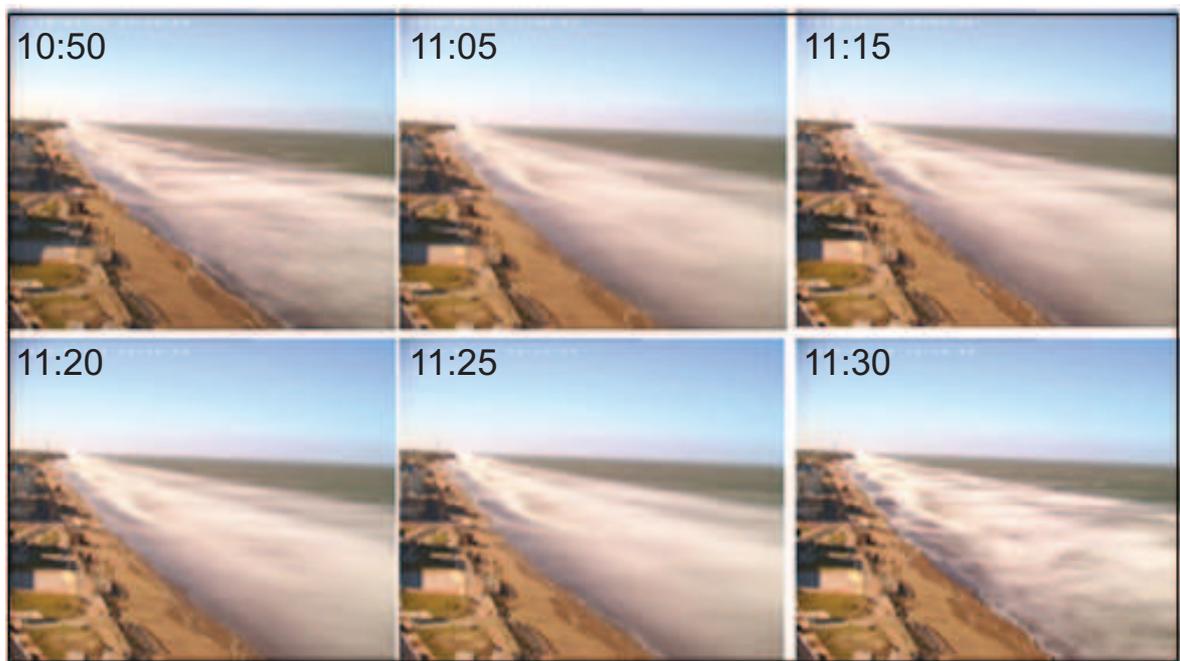


Figura 6.10: Variación de la playa de Monte Hermoso durante el día 06-05-2010. En este conjunto de imágenes se visualiza como la zona de rompientes abarca casi la totalidad de la playa.

Hora	T. A. (°C)	H.(%)	D. V.	V. V. (km/h)	A. M. (m)
10 : 50	44	13,6	SO	43,4	1,78
12 : 35	42	13,9	SSO	54,2	1,38
17 : 15	41	15,1	S	42,4	1,82
17 : 50	45	15,2	SSE	36,3	2,22
18 : 25	44	15,2	SSE	37	3,04
19 : 35	41	15,1	SSE	33,5	3,45

Tabla 6.6: Condiciones meteorológicas del día 05-02-2011 en el balneario de Monte Hermoso. Los parámetros considerados son: temperatura del aire (T. A.), humedad (H.), dirección del viento (D. V.), velocidad del viento (V. V.) y altura de marea (A. M.).



Figura 6.11: Variación de la playa de Pehuén Co durante el día 05-02-2011. En estas imágenes se puede observar que la zona de rompientes abarca la totalidad de la playa.

Hora	T. A. (°C)	H.(%)	D. V.	V. V. (km/h)	A. M. (m)
11 : 55	22	18,5	SE	11,2	3,1
13 : 40	27	19	SSE	17,1	2,5
14 : 50	29	SE	14,3	1,96	
16 : 35	33	19,7	SE	24,6	1,40
18 : 20	41	18,6	SE	41,9	1,30
18 : 55	42	18,6	ESE	35	1,50

Tabla 6.7: Condiciones meteorológicas del día 06-02-2011 en el balneario de Monte Hermoso. Los parámetros considerados son: temperatura del aire (T. A.), humedad (H.), dirección del viento (D. V.), velocidad del viento (V. V.) y altura de marea (A. M.).



Figura 6.12: Variación de la playa de Pehuén Co durante el día 06-02-2011, se aprecia visualmente la presencia de personas.

6.3. Detección de la Línea de Ribera

A partir de la imagen media rectificadas, en segunda instancia se obtiene una poligonal que representa la línea de ribera (interacción entre el mar y tierra). Ésta, al ser detectada sucesivamente en varias imágenes, posibilita estudiar diferentes fenómenos que suceden en los ambientes costeros. Un ejemplo de ello es la medida del avance y retroceso del agua de acuerdo al ciclo de mareas.

Los resultados de la segmentación son mostrados en un conjunto de imágenes seleccionadas para tal fin (Figura 6.13). En ellas se observa la variación en forma y longitud de la línea en diferentes fechas. Un cambio significativo en la forma de borde se visualiza en el conjunto de datos, lo que es producido por fenómenos ambientales como las condiciones climatológicas, variaciones en el nivel del mar, oscilaciones en el frente de playa debido a las condiciones de oleaje, entre otros.

En la imagen del 5 de febrero del 2011 a las 11:27 a.m. la línea de ribera está representada por una poligonal suave. Mediante un análisis visual es posible, en primera instancia y en forma cualitativa, verificar que el algoritmo desarrollado detecta la línea correctamente. El mismo día a la hora 07:35 p.m., debido a un fuerte temporal registrado en la zona, se observa que la interacción tierra-agua tiende a desaparecer. En estas condiciones, la detección automática presenta errores en la etapa de segmentación. En situaciones de avance del agua hacia pleamar, los charcos de agua son eliminados con la metodología. Un ejemplo de lo mencionado son las imágenes del 25 y 27 de febrero del 2011.



Figura 6.13: Ejemplos de variación en forma y longitud de la línea de ribera de la playa de Pehuén Co en diferentes fechas y horarios.

La verificación de los resultados de la detección automática a nivel cuantitativo, se lleva a cabo a partir de la digitalización de la línea de ribera en imágenes medias en diferentes fechas y condiciones de marea. Para ello se hace uso del sistema gvSIG, el cual es un proyecto de desarrollo de Sistemas de Información Geográfica de software libre. Con esta herramienta se digitaliza, en formato vectorial, la poligonal de la línea de ribera en forma manual. Luego se estima la longitud de la línea con una herramienta de medición incluida en el software (Figura 6.14).

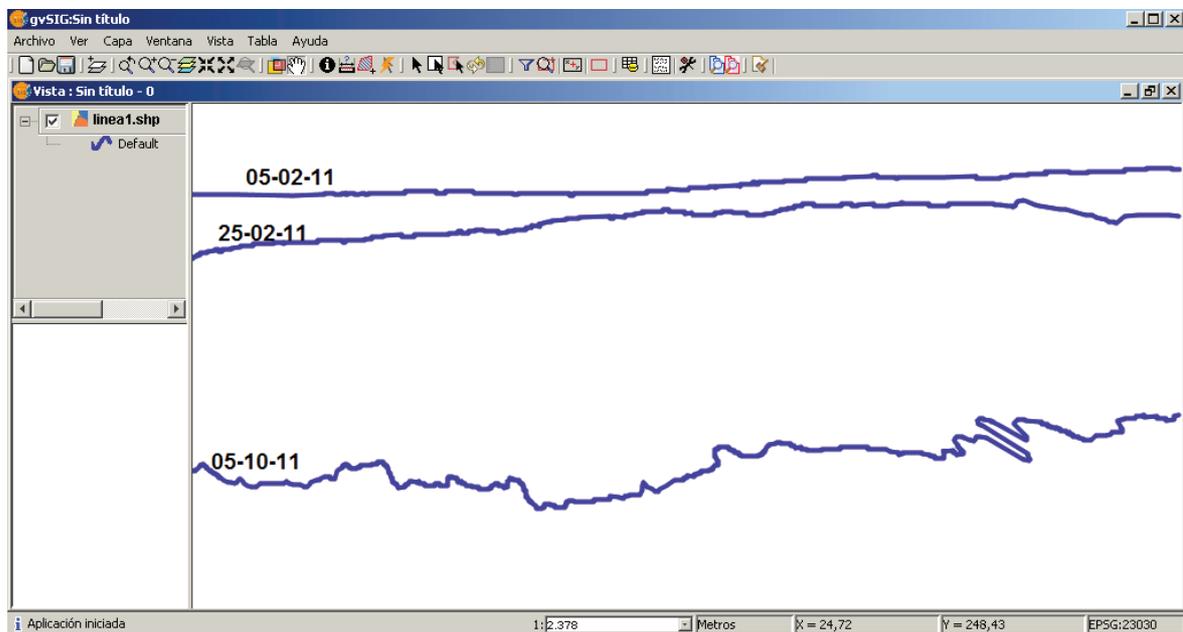


Figura 6.14: Resultado de la digitalización manual en formato vectorial de la línea de ribera con la herramienta GvSIG.

Por otra parte, la medición con la metodología no supervisada propuesta utiliza los algoritmos Teh Chin Chain, Chain Code, MSI y BEP (Tabla 6.8). Para los casos de estudio presentados, se trabaja sobre imágenes rectificadas con píxeles de longitud uniforme. La escala correspondiente es de 0.4 m por píxel. En la Figura 6.15 se observa cómo el valor de la longitud obtenida con el algoritmo de representación de bordes Teh Chin Chain en forma automática es el que mejor se aproxima al valor medido en forma manual. Este

último es tomado como referencia para determinar el error porcentual de los resultados obtenidos con cada uno de los algoritmos mencionados (Tabla 6.9).

Método	06/02/2011	25/02/2011	05/10/2011
Valor real	216,94 m	284,95 m	219,83 m
Teh Chin Chain	215,27 m	281,15 m	217,72 m
Chain Code	209,12 m	234,15 m	204,27 m
MSI	221,69 m	294,68 m	228,29 m
BEP	232,8 m	346,4 m	248,4 m

Tabla 6.8: Longitud de la línea de ribera obtenida por diferentes métodos de medición en comparación con el resultado de los valores de una medición sobre una segmentación manual. El valor real es comparado con los métodos Teh Chin Chain, Chain Code, MSI y Bordes Exteriores

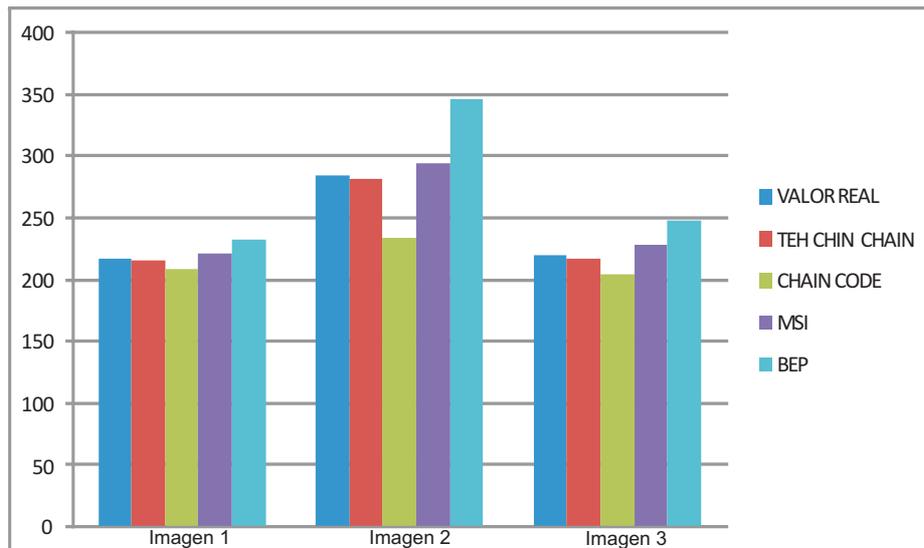


Figura 6.15: Comparación de valores de longitud de la línea de ribera con diferentes algoritmos de medición.

La metodología también posibilita el estudio de la variación de la longitud y forma de la línea de ribera en un período de tiempo. Como ejemplo de dicha aplicación, se presentan imágenes medias de la fecha 13 de marzo del 2012 obtenidas de un intervalo de tiempo de 10 horas de grabación (Figura 6.16). También los datos de mareas son considerados para el análisis de los resultados.

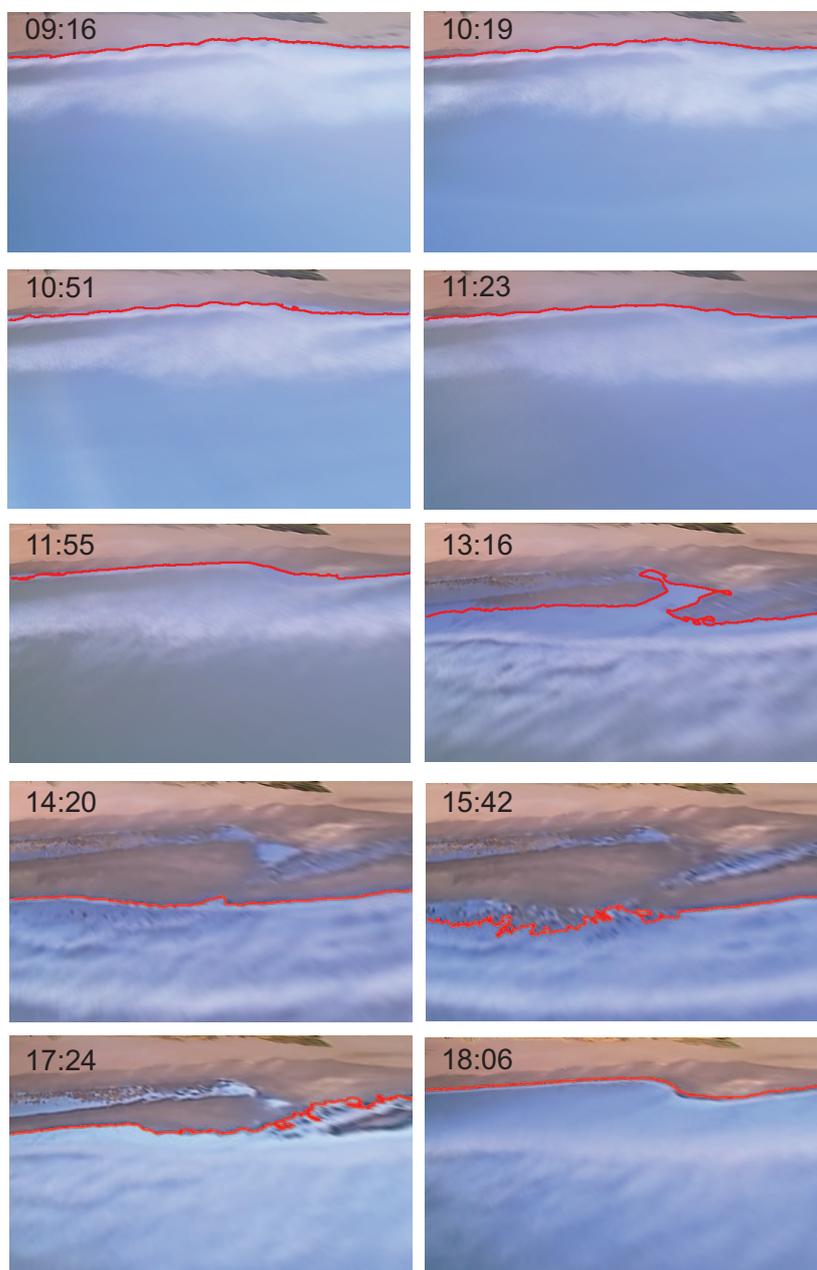


Figura 6.16: Ejemplos de la detección de la línea de ribera con superposición en imágenes medias. Estas imágenes corresponden a la playa de Pehuén Co durante el día 13-03-2012 en diferentes horarios.

Método	06/02/2011	25/02/2011	05/10/2011
Teh Chin Chain	-0,76 %	-1,33 %	-0,96 %
Chain Code	-3,60 %	-17,82 %	-7,70 %
MSI	2,18 %	3,41 %	3,84 %
BEP	7,3 %	21,44 %	12,81 %

Tabla 6.9: Error porcentual en estimación de la longitud de la línea de ribera obtenida con los diferentes métodos.

El estado de pleamar se observa en la imagen de las 9:16 a.m, donde la línea es correctamente identificada por el método. Luego, en las imágenes siguientes, el agua comienza a retirarse de la costa. El momento en que el agua alcanza su menor altura, bajamar, se produce a las 03:42 p.m., esto coincide con la hora proporcionada por las tablas de marea. Desde ese momento, el agua comienza un nuevo ciclo de marea hasta llegar nuevamente a su máxima altura.

Todas las líneas son superpuestas en una única imagen para observar su variación en forma (Figura 6.17). Durante los períodos intermedios entre pleamar y bajamar, las formas presentan una irregularidad significativa. Esto se debe a los procesos de formación de charcos aislados de agua y canales, lo cual genera dificultades para la segmentación con métodos basados en color. La longitud de la línea de ribera se calcula a través del método Teh Chin Chain (Figura 6.18). En los horarios cercanos a pleamar se puede observar que la longitud presenta valores similares, mientras que los mayores cambios se producen en horarios cercanos a bajamar.

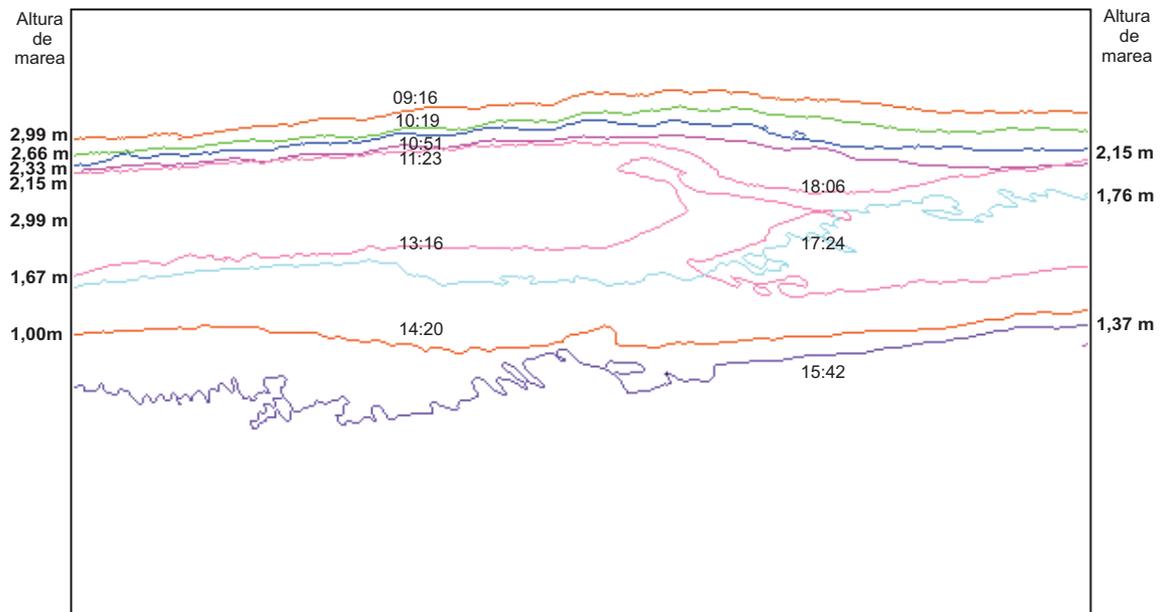


Figura 6.17: Ejemplos de variación en la forma de la línea de ribera correspondiente a la playa de Pehuén Co del día 13-02-2012 en diferentes horarios y bajo diferentes alturas de mareas. Las pleamares ocurren a las 08:56 y 20:42 hs con alturas de 3,32 y 3,76 m, respectivamente. En tanto las bajamares suceden a las 03:10 y 15:23 hs con alturas de 0,82 y 0,98 en cada horario. (Ver también Figura 6.41).

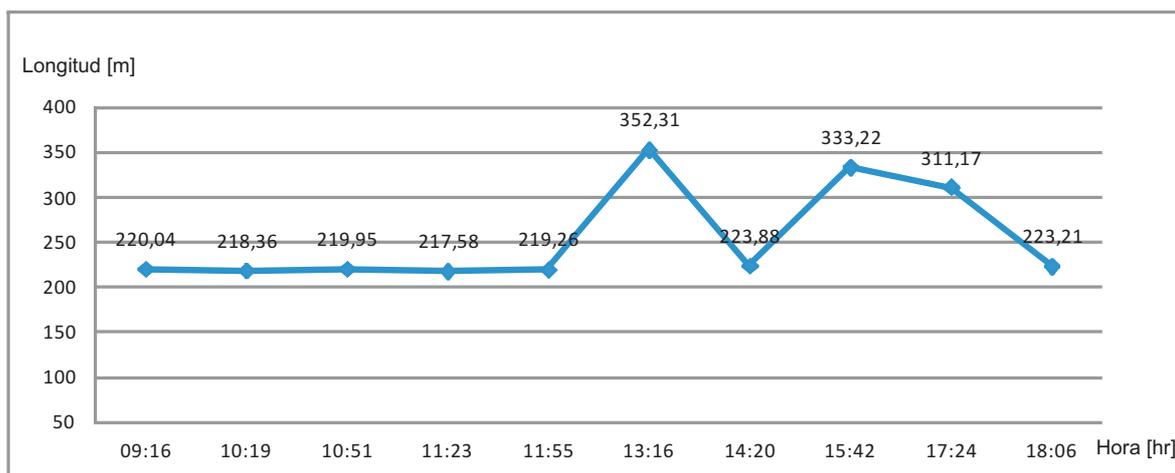


Figura 6.18: Ejemplo de variación de la longitud de la línea de ribera en función del tiempo de la playa de Pehuén Co del día 13-02-2012.

6.4. Clasificación y Medición de Zonas de Playa

Los resultados de la clasificación y extracción de zonas de la playa son analizados en el conjunto de imágenes medias presentado en la Figura 6.19. Éstas representan condiciones meteorológicas y de iluminación diferentes (Tabla 6.10). La variedad de imágenes consideradas en la selección intenta verificar que la metodología desarrollada sea robusta en un amplio rango de condiciones.

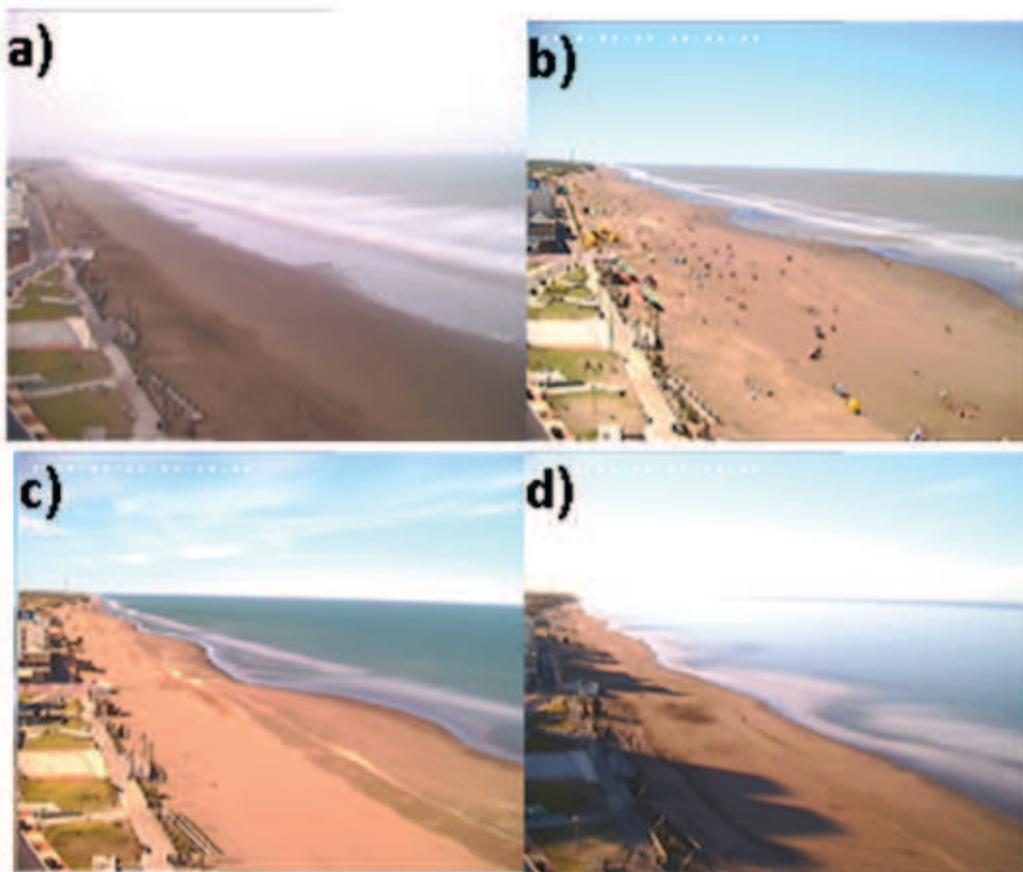


Figura 6.19: Imágenes del balneario de Monte Hermoso en diferentes condiciones meteorológicas. Para cada caso, el estado del clima se describe en la Tabla 6.10. a) 07-09-2009, 12:20 hs. b) 26-02-2010, 11:50 hs. c) 27-04-2010, 13:20 hs. d) 20-05-2010, 09:50 hs.

En las imágenes se observa cómo la playa de Monte Hermoso presenta diferentes características tanto en intensidad de color como en su morfología. Visualmente se observa la

Fig.	Fecha	Hora	T. A.(°C)	H.(%)	R. S.(w/m^2)	D. V.	V. V.(m/s)
a)	07 – 09 – 2009	12 : 20	8,0	95	67	<i>SSE</i>	47,1
b)	26 – 02 – 2010	11 : 50	25,3	35	715	<i>NW</i>	9,5
c)	27 – 04 – 2010	13 : 20	22,1	26	558	<i>W</i>	9,1
d)	20 – 05 – 2010	09 : 50	9,4	96	216	<i>NNW</i>	4,8

Tabla 6.10: Condiciones meteorológicas correspondientes a la Figura 6.19. Temperatura del aire (T.A.), humedad (H.), radiación solar (R.S.), dirección (D.V.) y velocidad del viento (V.V.).

variación de las áreas de cada zona. Como ejemplo, en la Figura 6.19(a), la zona de rompientes es mucho mayor. La presencia de edificios o estructuras naturales pueden causar sombras sobre la playa que deben ser reconocidas sin perder datos de las condiciones de la misma. La distinción de las zonas de la playa y la estimación del valor de su superficie proporcionan información significativa, referida al estado de marea o cambios en las zonas de rompiente y lavado, relacionadas con las variaciones de las condiciones de olas y la morfología de la playa bajo el agua.

El reconocimiento de las zonas de la playa comprende varias etapas en la que se obtienen resultados parciales. Inicialmente, en la pre-segmentación se aplica el algoritmo *Mean Shift*, con lo que se reduce la dispersión de los valores de la distribución que representa el histograma. Esto se aprecia visualmente en las imágenes resultantes, donde cada una de las zonas tiende a homogeneizar un color distintivo respecto a las demás (Figura 6.20). Ante diferentes condiciones climáticas, dicho color varía en un rango amplio, lo cual debe ser considerado en las etapas siguientes.

Posteriormente, en la etapa de clasificación, se eligen grupos de píxeles que representan valores de intensidad de cada área. Estos conjuntos son usados como prototipos en la metodología. A partir de esta elección y en combinación con el método de clasificación por distancia mínima, se logra la segmentación de todas las zonas (Figura 6.21). Sin embargo, se observa la existencia de objetos espurios como pueden ser charcos en la arena, personas, estructuras, etc.

Mediante la extracción de características de tamaño, la etapa final consiste en la eliminación de los mencionados objetos espurios. Durante este proceso, las regiones seg-

mentadas que poseen un área muy pequeña son consideradas espurias y, en consecuencia, los píxeles que las conforman son asociados a la clase de mayor tamaño que rodea a la región correspondiente.

Por último, la validación de los resultados finales de la clasificación se realiza superponiendo los sectores diferenciados sobre la imagen original. La metodología es capaz de clasificar en forma automática las zonas de la playa con una mínima intervención del usuario. Los objetos que no pertenecen a la región de interés son separados y las personas clasificadas como grupos aislados son eliminadas.

Ante diferentes condiciones meteorológicas, las dificultades para la segmentación se presentan de diversas maneras. En días nublados y ventosos, donde la presencia de usuarios es reducida, la pre-segmentación produce buenos resultados y se simplifican las etapas siguientes (Figura 6.22). Contrariamente, en condiciones agradables de temperatura y vientos suaves, la cantidad de usuarios se incrementa y la corrección de errores en la zona de playa seca es el punto crítico de la segmentación (Figura 6.23). También el horario de captura tiene influencia sobre las imágenes que se deben procesar. En las primeras horas de la mañana, la posición del sol genera sombras de los edificios que cubren una parte importante de la zona de playa seca (Figura 6.24). Particularmente, los horarios de pleamar o bajamar generan la mayor variación en el tamaño de la zona de playa húmeda. El momento en el cual esta zona cubre mayor área coincide con el horario de bajamar (Figura 6.25).

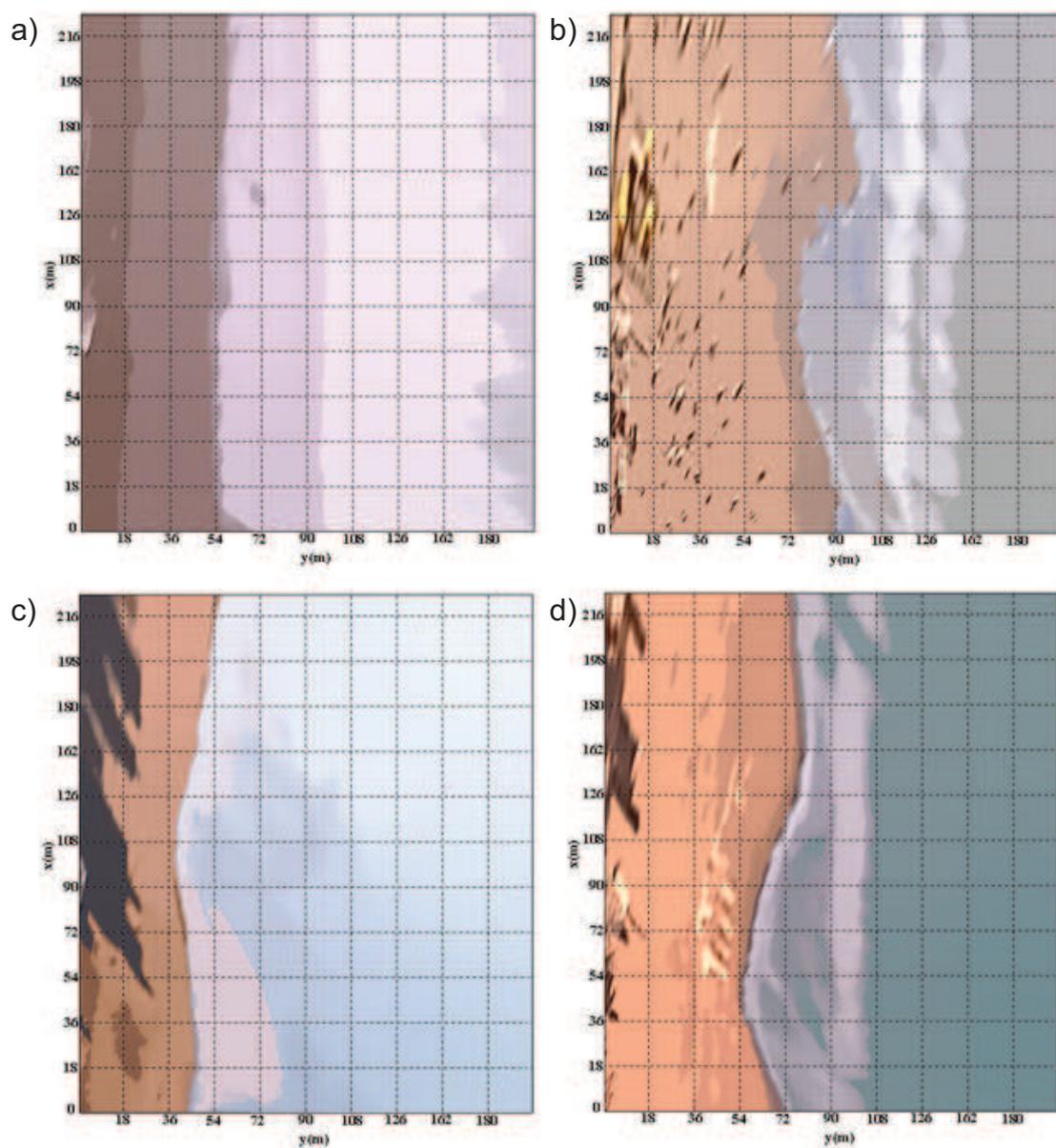


Figura 6.20: Pre-segmentación de las zonas de la playa de Monte Hermoso bajo las condiciones meteorológicas indicadas en la Tabla 6.10. a) 07-09-2009, 12:20 hs. b) 26-02-2010, 11:50 hs. c) 27-04-2010, 13:20 hs. d) 20-05-2010, 09:50 hs.

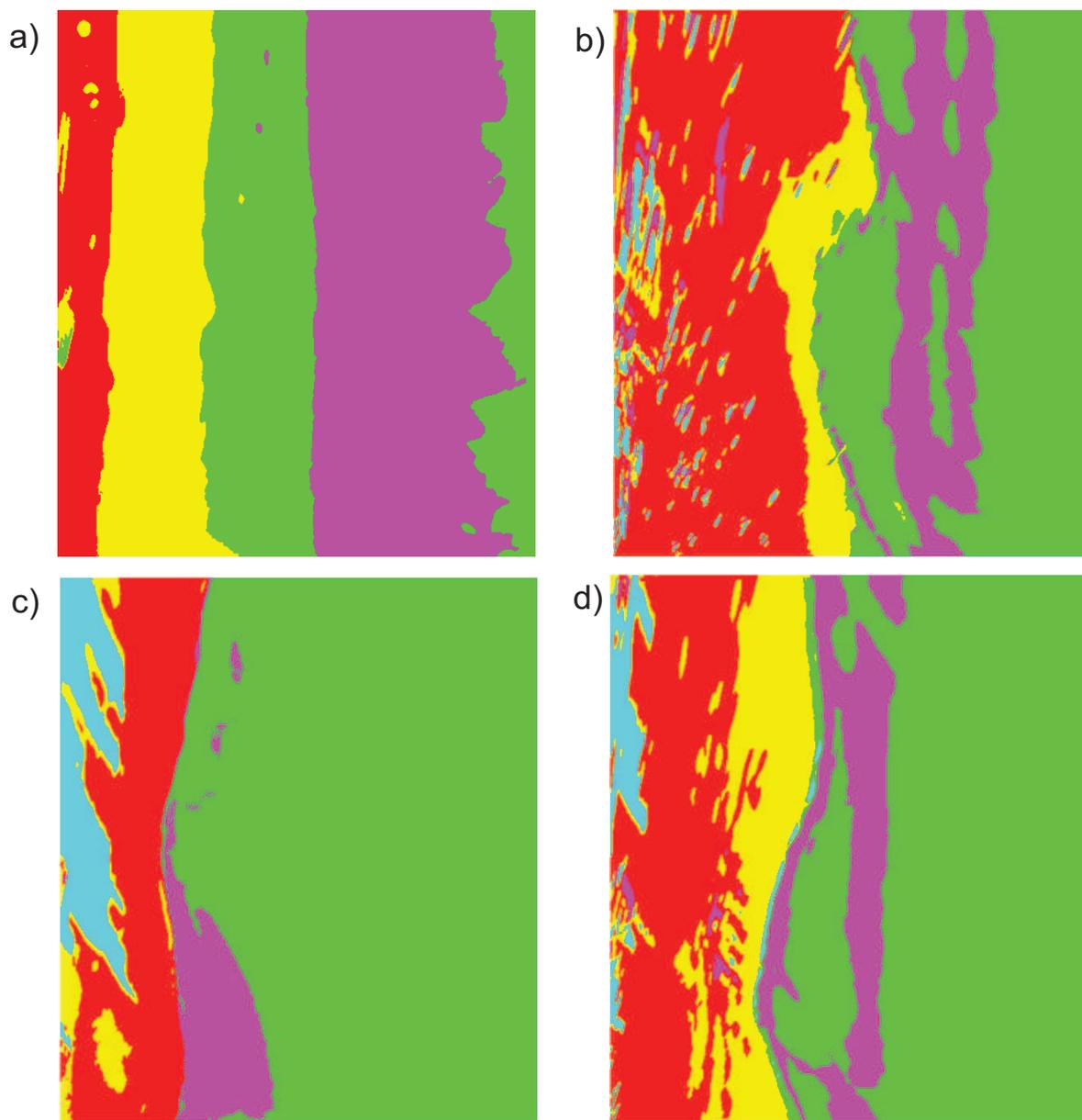


Figura 6.21: Resultados de la clasificación de las zonas de la playa de Monte Hermoso para las condiciones meteorológicas indicadas en la Tabla 6.10. Zona de playa seca (rojo), zona de playa húmeda (amarillo), zona de rompientes (magenta), edificios o estructuras (cian), zona de lavado y agua (verde).

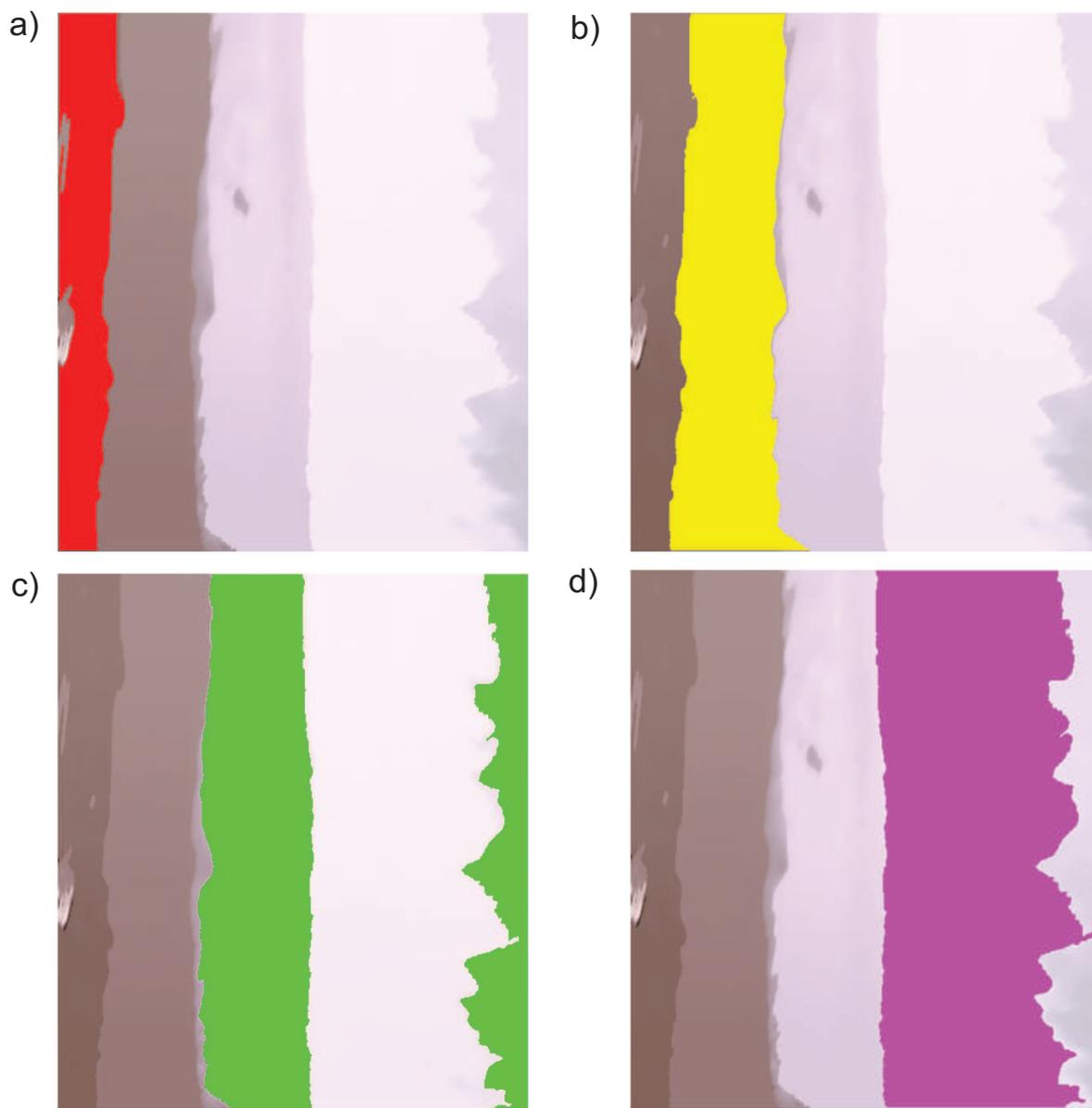


Figura 6.22: Detalle del resultado de la clasificación de zonas de la playa de Monte Hermoso, a las 12:20 p.m. del día 07-09-2009. Cada una de las zonas segmentadas se superpone sobre la imagen media original donde se muestra cómo las áreas segmentadas coinciden con lo que se observa visualmente.

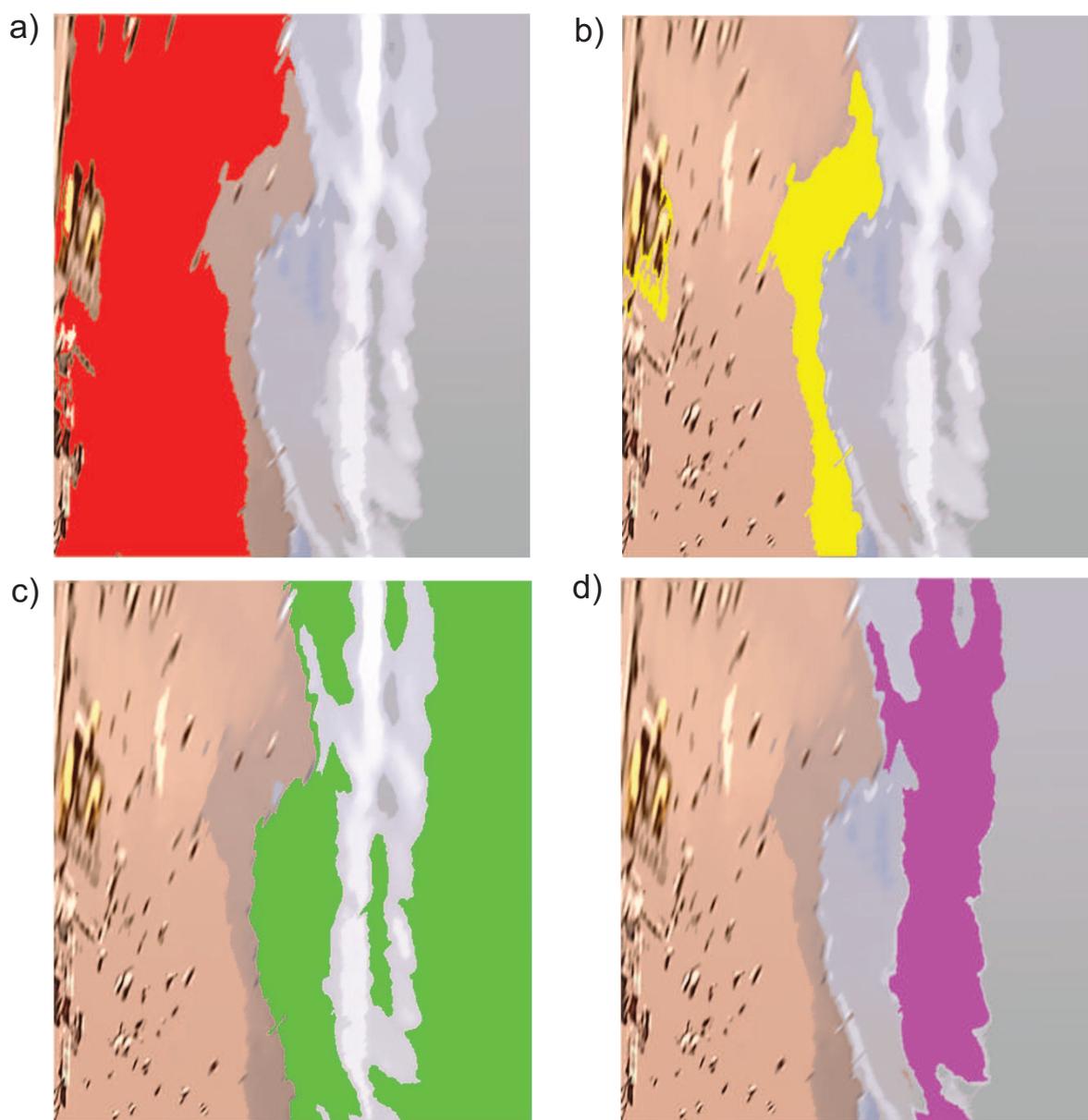


Figura 6.23: Detalle del resultado de la clasificación de zonas de la playa de Monte Hermoso, a las 11:50 a.m. del día 26-02-2010. Cada una de las zonas segmentadas se superpone sobre la imagen media original donde se muestra cómo las áreas segmentadas coinciden con lo que se observa visualmente.

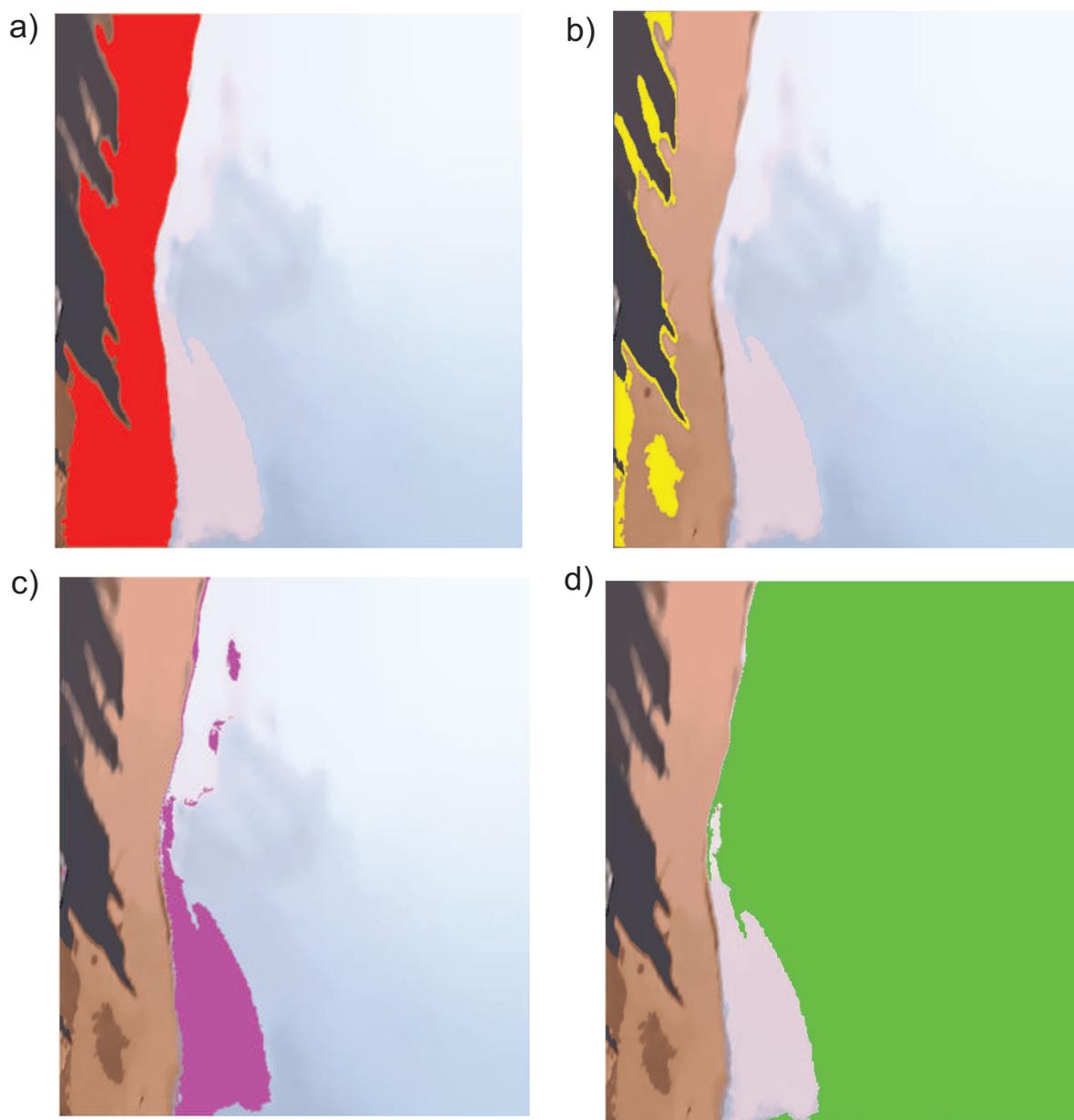


Figura 6.24: Detalle del resultado de la clasificación de zonas de la playa de Monte Hermoso, a las 13:20 p.m. del día 27-04-2010. Cada una de las zonas segmentadas se superpone sobre la imagen media original donde se muestra cómo las áreas segmentadas coinciden con lo que se observa visualmente.

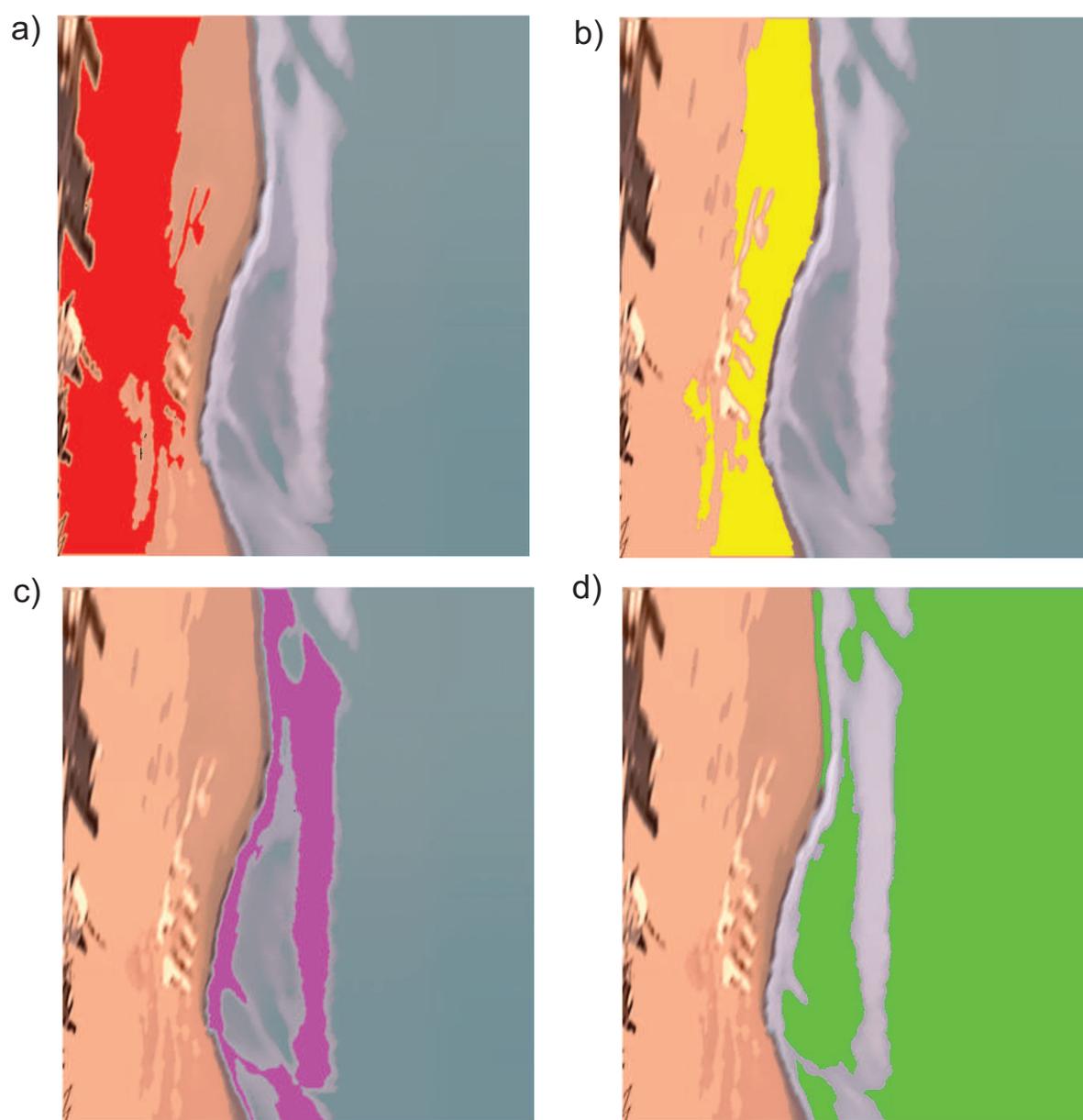


Figura 6.25: Detalle del resultado de la clasificación de zonas de la playa de Monte Hermoso, a las 09:50 a.m. del día 20-05-2010. Cada una de las zonas segmentadas se superpone sobre la imagen media original donde se muestra cómo las áreas segmentadas coinciden con lo que se observa visualmente.

Los resultados presentados previamente muestran información en forma cualitativa. No obstante, la determinación del área de cada una de las regiones segmentadas permite un análisis cuantitativo de las características de la playa. Utilizando una secuencia de imágenes medias consecutivas es posible estudiar la variación del área en función del tiempo.

Para ilustrar este resultado, se consideran cinco horas de grabación y se evalúa el tamaño de cada zona (Figura 6.26). Los resultados muestran cómo el área de sombras de edificios (cian) decrece con la puesta del sol. La zona húmeda (amarillo) también decrece cuando el agua cubre la playa. La zona de rompientes (magenta) permanece con pocas oscilaciones al igual que la zona de playa seca (roja). Cuando la marea sube el agua (verde) también crece.

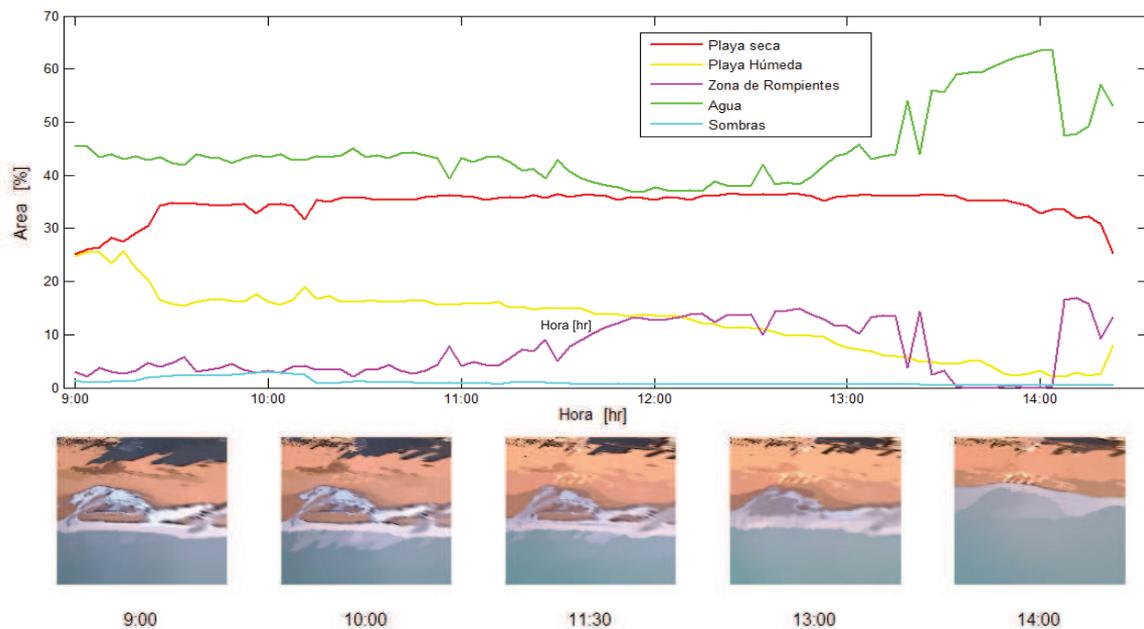


Figura 6.26: Variación de las zonas de playa en función del tiempo para un conjunto de imágenes medias de la playa de Monte Hermoso del día 20-05-2010. Zona de playa seca (rojo), zona de playa húmeda (amarillo), zona de rompientes (magenta), agua (verde) y sombras de edificios (cian).

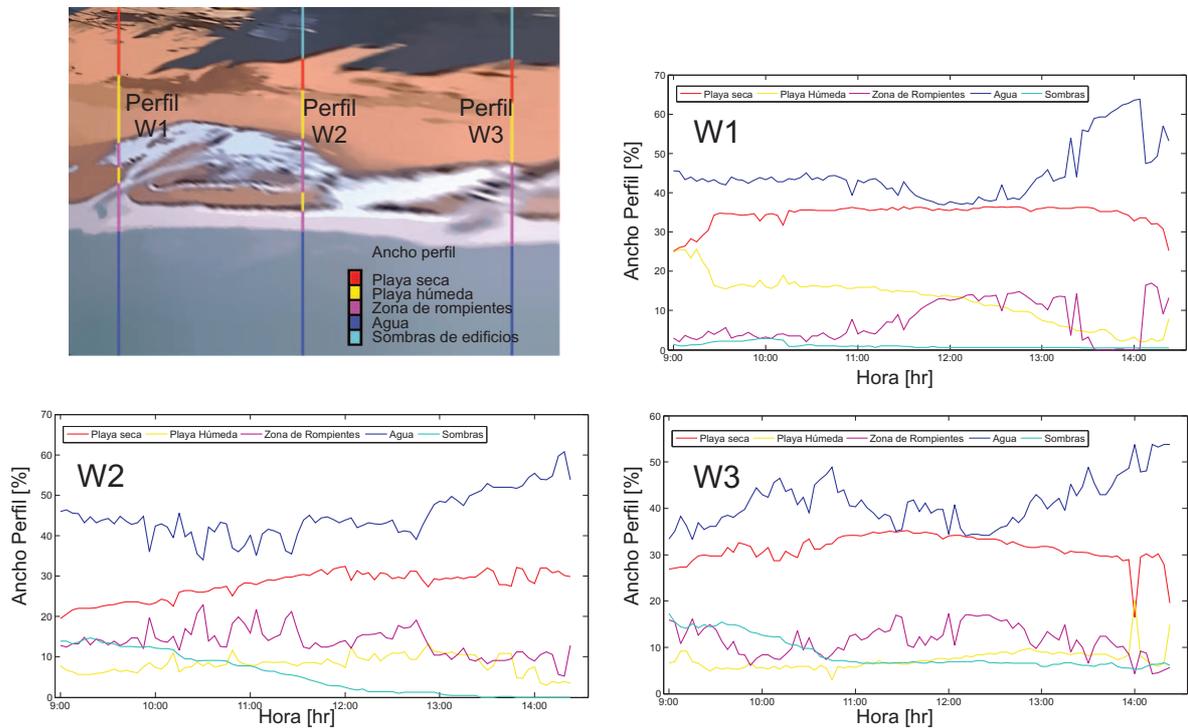


Figura 6.27: Variación del ancho de las zonas de playa de Monte Hermoso en tres perfiles W1, W2, W3 del día 20-05-2010.

Otra aplicación interesante del reconocimiento de las diferentes zonas es la medición del ancho de cada región de la playa a través de perfiles. Como ejemplo se toman tres perfiles W1, W2 y W3 distribuidos de forma estratégica sobre la playa (Figura 6.27). En el perfil W1 la región de agua y de rompientes presentan las mayores variaciones, mientras que la región de playa húmeda decrece y la de sombras de edificios es reducida. En cambio, en el perfil W2 la zona de playa húmeda se mantiene aproximadamente constante y la curva de sombras decrece. Finalmente, en las características del perfil W3 se observa la relación entre las zonas de playa seca y sombras. Como es de esperar, la reducción de sombras se refleja en un crecimiento de la medición de playa seca.

6.5. Clasificación de Usuarios en la Playa

Por último en la presente tesis, los resultados de la metodología de clasificación y estimación de personas en una región de la playa son evaluados en un conjunto de imágenes medias e instantáneas (Figura 6.28). Las primeras corresponden a la zona de la playa que coincide con el casco céntrico de la ciudad de Monte Hermoso, mientras que las instantáneas son imágenes de la playa La Magdalena, España ($43^{\circ} 28' 10.33''$ N, $3^{\circ} 46' 32.41''$ O). En ambas se observa la presencia de personas que deben ser reconocidas para estimar el nivel de ocupación de la playa en base al valor de CCP. Se considero la playa de la Magdalena por poseer características distinguibles respecto a las playas de Monte Hermoso y Pehuen C6, adem6s se trabaj6 con c6maras de mayor resoluci6n para diferenciar el factor tecnol6gico en los ejemplos presentados.



Figura 6.28: Im6genes de personas en la playa. a) Usuarios en la ciudad de Monte Hermoso. b) Presencia de personas en im6genes de mayor resoluci6n en la playa La Magdalena, Espa6a.

La metodolog6a propuesta abarca dos enfoques: clasificaci6n supervisada y no supervisada. Para el primer caso se utiliza el m6todo de clasificaci6n en base a grupos de p6xeles prototipos, mientras que el segundo est6 basado en el algoritmo *K-means*. En la Figura 6.29 se presenta la comparaci6n de ambos m6todos aplicados sobre im6genes medias y en la Figura 6.30 se muestran los resultados correspondientes a im6genes instant6neas. Como puede observarse, el m6todo supervisado detecta una mayor cantidad de personas

en todos los casos ya que logra reconocer usuarios que se ubican en el agua. Al mismo tiempo, la reducción en la cantidad de zonas espurias respecto a los resultados del método no supervisado es notable. Teniendo en cuenta esta comparación, a continuación se detallan las etapas correspondientes a la técnica supervisada.

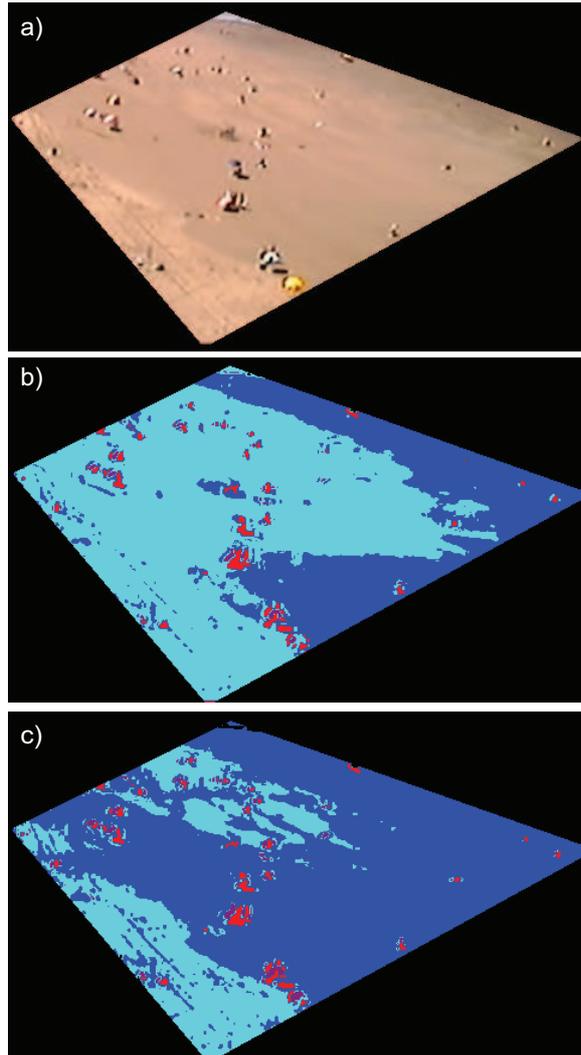


Figura 6.29: Clasificación de personas en imágenes medias de la playa de Monte Hermoso. a) Imagen Original. b) Imagen clasificada con el algoritmo *K-means*, los usuarios se identifican con el color rojo. c) Imagen clasificada con la metodología propuesta en donde las personas son indicadas con el color rojo.

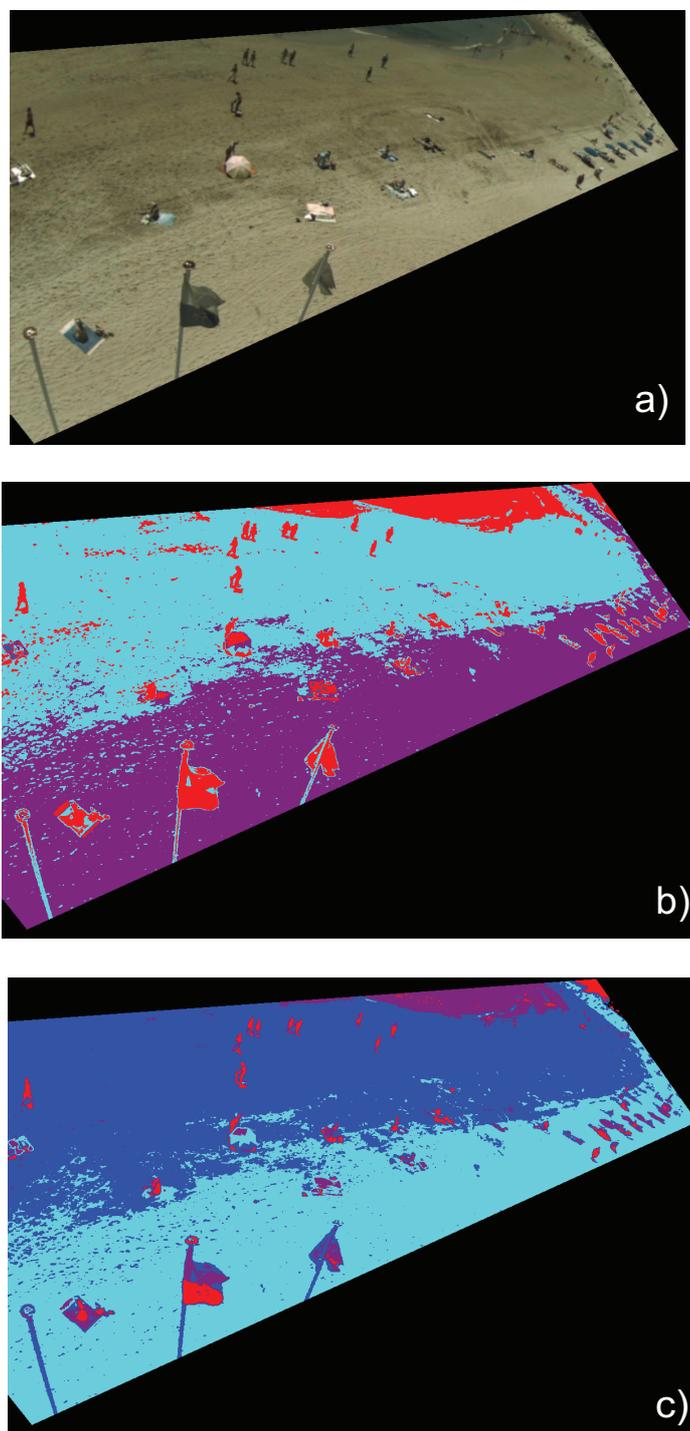


Figura 6.30: Clasificación de personas en imágenes instantáneas de la playa La Magdalena, España. a) Imagen Original. b) Imagen clasificada con el algoritmo *K-means*. c) Imagen clasificada con la metodología propuesta. Los usuarios son clasificados con el grupo en color rojo.

Previamente a la etapa de clasificación, en las imágenes se selecciona sólo una región de interés para aplicar la metodología. La ubicación y el tamaño de dicha región se definen, principalmente, a partir del campo de visión de la cámara. También influyen la resolución de la imagen, el tamaño de la zona de playa y la infraestructura cercana. No obstante, esta elección debe ser realizada por única vez para una cámara que se mantenga en una posición fija.

La clasificación comienza con la definición de los grupos de píxeles prototipos, incluyendo uno por cada zona visible de la playa y uno que representa a las personas. Como ejemplo, se muestran los resultados de aplicar este proceso en una secuencia de imágenes medias de diferentes horarios, en donde los usuarios son representados por el grupo de color rojo (Figura 6.31). Puede notarse la existencia de objetos que no representan personas, por ejemplo sombrillas o charcos de agua.

Sobre imágenes instantáneas (HORUS), los resultados obtenidos se presentan en la Figura 6.32. En estos casos se puede observar la variación en forma y tamaño de la región de interés seleccionada para diferentes posiciones de la cámara. Debido a la mayor resolución de estas imágenes se logra distinguir con más claridad la silueta de cada usuario.

Luego de la clasificación, se utiliza una etapa de filtrado donde se eliminan los grupos de píxeles que poseen un área pequeña o de forma irregular. Los grupos de estas características que son identificados como usuarios son considerados erróneos. Una vez efectuada esta corrección se realiza el conteo del número de personas (Figura 6.33).

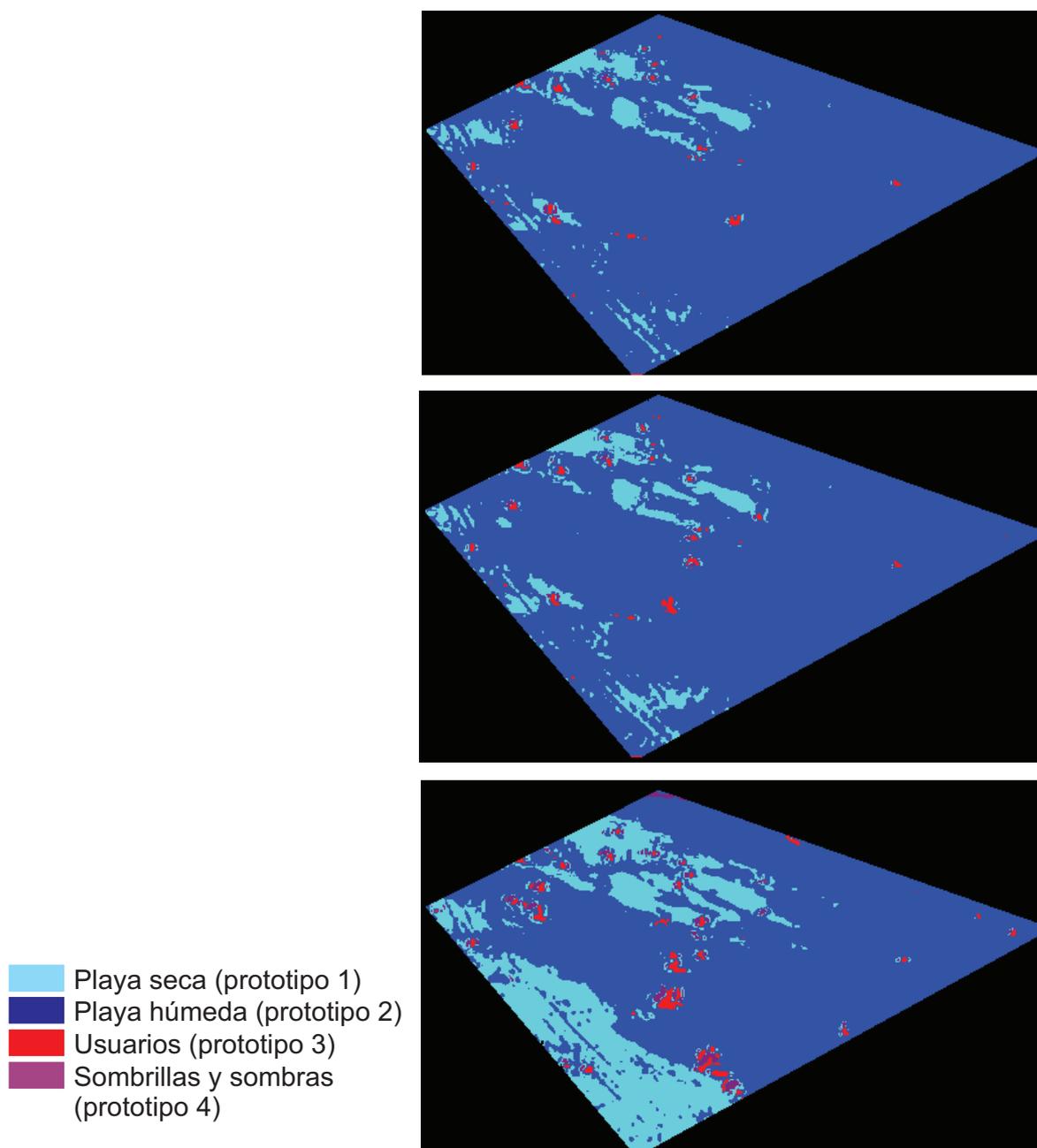


Figura 6.31: Imágenes medias clasificadas con la metodología de grupos de píxeles prototipos. Los usuarios son representados por el color rojo en la clasificación.

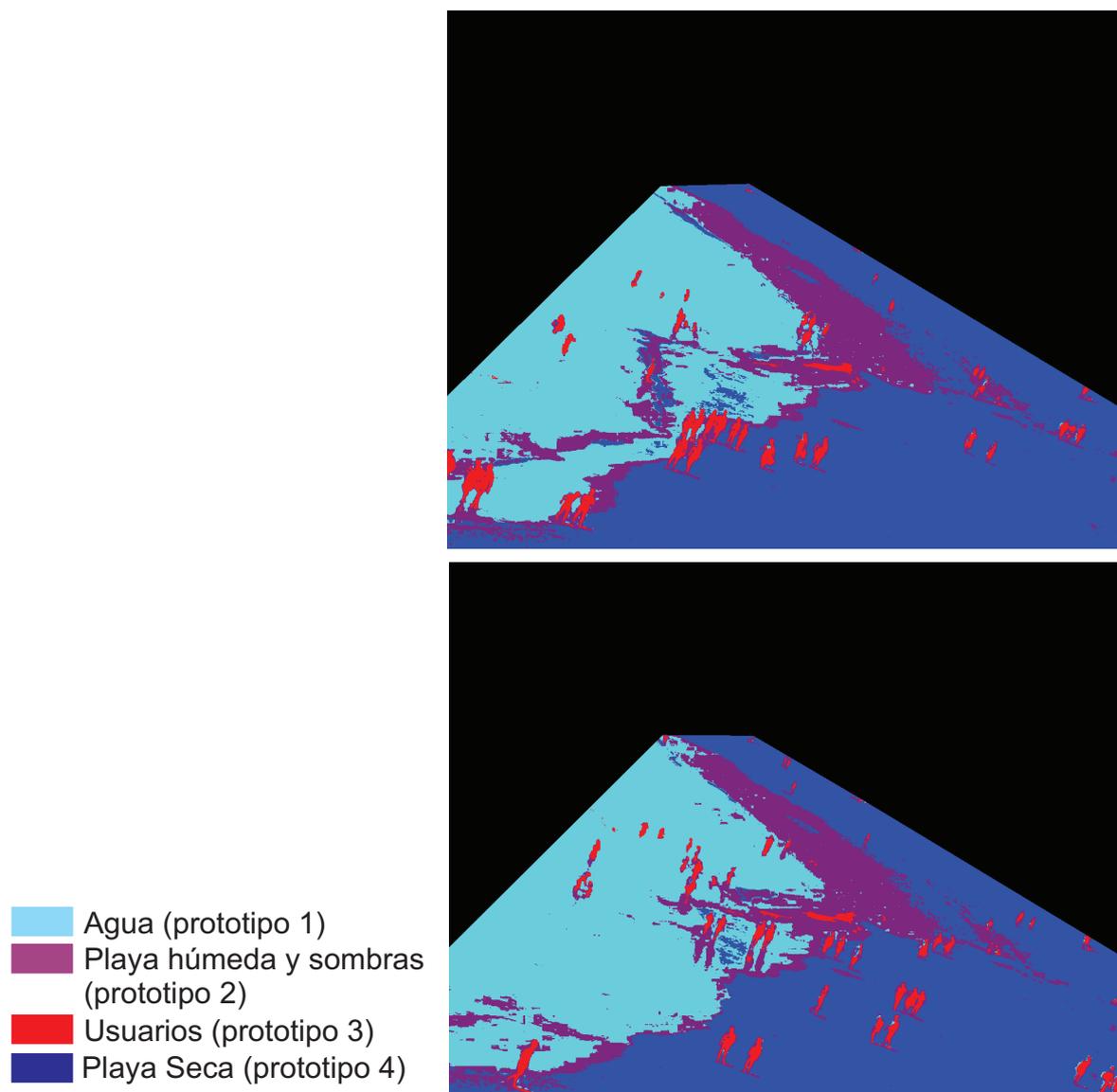


Figura 6.32: Imágenes instantáneas clasificadas con la metodología de grupos de píxeles prototipos. Los usuarios son representados por el color rojo en la clasificación.



Figura 6.33: Detección de personas sobre imágenes instantáneas clasificadas con la metodología de grupos de píxeles prototipos. En la esquina superior derecha de cada imagen se indica la cantidad de usuarios identificados en el sector analizado.

En última instancia, se validan los resultados obtenidos comparando el número estimado con la cantidad real de personas identificadas y enumeradas en forma manual. Esta última se obtiene a través de la colocación de marcas en las posiciones donde se ubican las personas en la imagen original (Figura 6.34 a). Para efectuar la comparación, las personas detectadas con el método son representadas por círculos superpuestos sobre la imagen original (Figura 6.34 b). La similitud en la cantidad y ubicación de las marcas en ambas imágenes confirma la eficiencia del procesamiento propuesto.

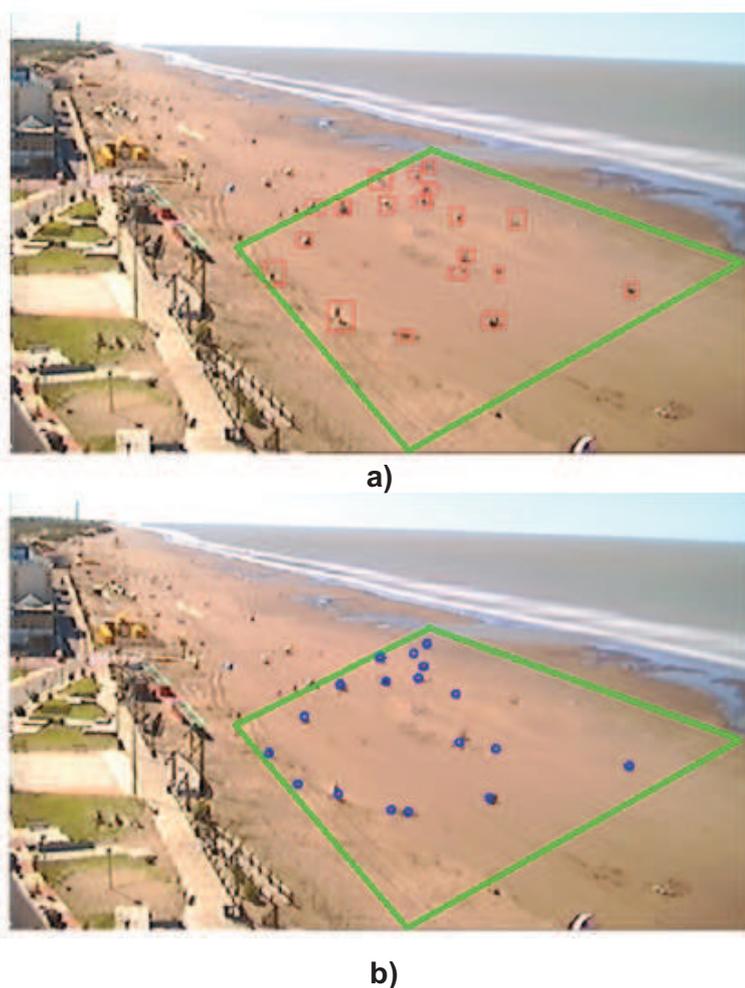


Figura 6.34: Validación de la metodología de detección de usuarios en el balneario Monte Hermoso. a) Identificación manual. b) Identificación automática con el método de píxeles prototipos.

Para una validación en forma completa, la comparación descrita previamente se efectúa sobre un conjunto de imágenes correspondientes a un período de dos horas. De esta manera, se obtienen las curvas de variación de la cantidad de usuarios en función del tiempo (Figura 6.35). Durante el período indicado, el número real de usuarios varió de 33 en la imagen inicial hasta un máximo de 61 en imágenes intermedias. Para todo el rango señalado el error porcentual se mantiene debajo del 27 % (Figura 6.36).

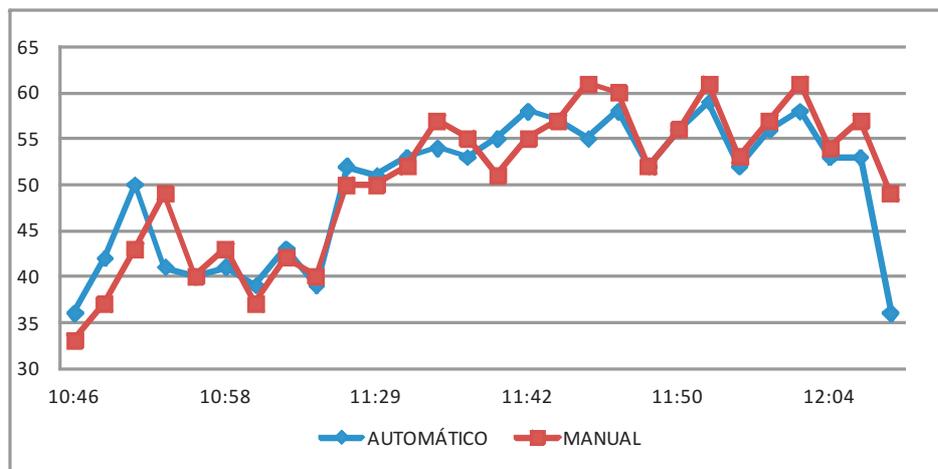


Figura 6.35: Variación de la cantidad de personas en función del tiempo. Método manual vs. automático.

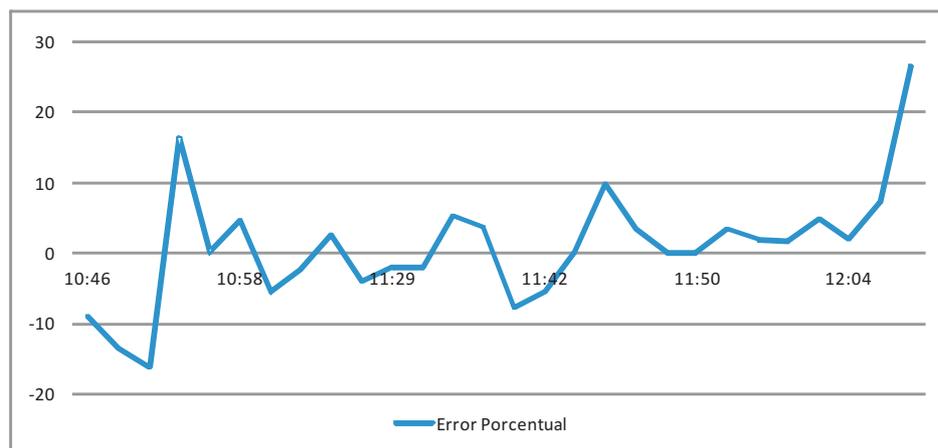


Figura 6.36: Error porcentual del método automático de identificación de personas.

6.6. Integración de los Resultados en un Sistema de Información Geográfico

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han convertido definitivamente en el principal medio para realizar un análisis integrado del territorio y todas las variables que se interrelacionan con él (Chuvienco, 1996). La información que brindan estos sistemas facilita la comprensión de procesos dinámicos que sirven como herramienta de apoyo en la toma de decisiones políticas, sociales y ambientales. Una de las primeras tareas en este tipo de proyecto es la recopilación de datos que deben ser integrados en el SIG. Luego sigue la actualización de esta información, la cual debe acompañar los cambios continuos que puede sufrir el territorio para no invalidar la fidelidad de cualquier análisis a posteriori.

A pesar de los beneficios de este tipo de sistemas, existen factores que limitan su desarrollo. Los altos costos de las licencias de software, las dificultades para la capacitación y la falta de conocimiento de las nuevas tecnologías son algunos de ellos. Teniendo en cuenta estas limitaciones se presenta como alternativa el uso de herramientas basadas en tecnología *Open Source* para la gestión de la información geográfica. Estas alternativas de software pueden entregar soluciones con resultados de calidad igual o superior a algunos de los sistemas propietarios del mercado.

En base al uso de software libre para la implementación del SIG, se presenta a continuación un ejemplo de aplicabilidad de los resultados obtenidos en la tesis sobre un caso real. Mediante este ejemplo, se describe la obtención de un modelo de la playa integrado en un sistema georreferenciado y asociado a una base de datos. Dicho modelo contiene información de la línea de ribera, zonas de la playa y usuarios, que son obtenidos directamente a partir de la metodología de PDI. Al mismo tiempo se muestra la utilidad de contar con esta información integrada para determinar, por ejemplo, el nivel de uso de la playa en base al concepto de capacidad de carga.

El desarrollo del SIG del balneario Monte Hermoso, utilizando la herramienta GvSIG, comienza con la recopilación de información disponible en diferentes organismos públicos

y privados. Inicialmente se obtienen los datos catastrales referentes a manzanas, calles y zonificación proporcionados por la municipalidad de la ciudad (Figura 6.37). A estos se añaden la carta topográfica del Instituto Geográfico Militar (1967) y una serie de imágenes de la aplicación Google Earth.

Los datos de manzanas se encuentran en un formato no compatible con los SIG. Por esta razón son migrados a formato ESRI *shape file* (SHP) de datos espaciales desarrollados por la empresa ESRI, al mismo tiempo que son georreferenciados. Ocasionalmente el plano del catastro no se encuentra actualizado, pudiendo contener errores de falta de sectores recientemente urbanizados, o de modificaciones no consideradas en los sectores más antiguos. Para realizar las correcciones necesarias se utilizan la carta topográfica, imágenes del Google Earth y un conjunto de puntos reales tomados en el terreno con un GPS (Figura 6.38). De esta manera se logra obtener información consistente a partir de diferentes fuentes, y ésta es almacenada en capas de polígonos con asociaciones de datos descriptivos.

Luego de la actualización del catastro, se obtiene como resultado la base de la información geográfica del sistema. La información adicional referida a características específicas de ambientes costeros es producto de las metodologías desarrolladas en esta tesis. En primer lugar, se genera una capa para identificar el área de estudio correspondiente a una ubicación determinada de la cámara. La carta topográfica del Instituto Geográfico Nacional brinda también una aproximación de la localización de la línea de ribera que define el comienzo del Mar Argentino (Figura 6.39).

La zona de estudio considerada es la región sobre la cual se realiza la detección de la línea de ribera, las zonas de playa y las personas, luego del proceso de rectificación. Dentro de esta zona, se integra la estimación de la línea de ribera hallada mediante la herramienta automática desarrollada (Figura 6.40). También es posible la superposición de las líneas de riberas detectadas en forma automática en distintos horarios y bajo diferentes condiciones de marea (Figura 6.41).

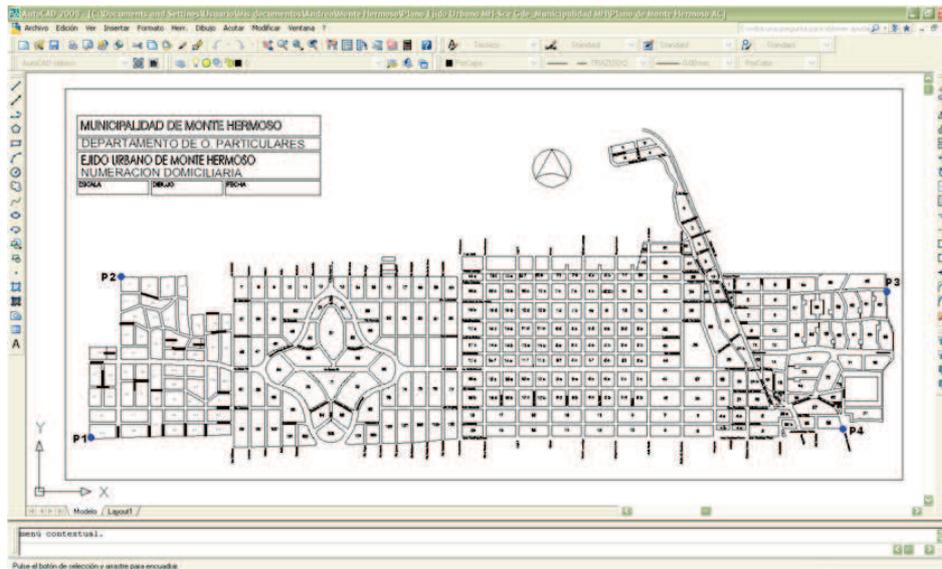


Figura 6.37: Plano del balneario Monte Hermoso suministrado por el municipio. Información catastral correspondiente a manzanas de la ciudad actualizada a diciembre de 2010. Fuente: Departamento de Particulares. Municipalidad de Monte Hermoso.



Figura 6.38: Puntos reales de calibración adquiridos con GPS para la georreferenciación, en color rojo. El recuadro de color verde señala el área de estudio dentro del balneario Monte Hermoso.

Es importante mencionar que, para este ejemplo, los resultados de la línea de ribera se agregan al sistema usando el modelo de datos *raster*. Esto significa que la información es representada por una matriz de celdas, en este caso la imagen obtenida con las técnicas

descriptas en la metodología. Lo mismo ocurre con los resultados de la clasificación de zonas costeras (Figura 6.42).

Por otro lado, si se requieren datos descriptivos de las entidades obtenidas con la clasificación es necesario trabajar con un modelo de datos vectorial. En este tipo de modelo los objetos de la realidad son mapeados como líneas, puntos o polígonos. Un ejemplo de dato vectorial lo constituye la capa de puntos que representa la distribución de personas en la playa. Cada punto contiene los campos de la posición georreferenciada, fecha y hora de captura y un símbolo específico para la visualización. Esto último es útil, por ejemplo, para mostrar en el SIG los usuarios agrupados de acuerdo al horario en que fueron identificados (Figura 6.43).

Finalmente, la integración de los resultados obtenidos permite mostrar la potencialidad del sistema al momento de analizar los datos en forma conjunta. Particularmente, la combinación de las mediciones de áreas de playa y cantidad de usuarios resulta aplicable para la determinación de los niveles de ocupación de la playa. Para esto, se utiliza la estimación de área para calcular la capacidad de carga de la playa de acuerdo a varios criterios de ocupación y dependiendo de la superficie de arena disponible en un momento determinado.

Uso de la Playa	Cantidad de usuarios
Intensiva	4263
Media	2131
Baja	853

Tabla 6.11: Capacidad de carga de la playa de Monte Hermoso de acuerdo a la definición de intensidad de uso de la Norma Cubana para el Ordenamiento de las Áreas de Playa (1988).

De acuerdo a los criterios de ocupación definidos con anterioridad, se toma como ejemplo una imagen obtenida en la fecha 26 de febrero del 2010 a las 10:46 a.m. La estimación de áreas correspondiente a playa seca y húmeda posee un valor de 21314 m². Con esta superficie la capacidad de carga calculada es la presentada en la Tabla 6.11. El número de usuarios identificados sobre dicha imagen es de 52 personas, de manera que en ese momento el nivel de ocupación de la playa se encuentra en un nivel de uso bajo. De

este modo, el SIG implementado permite observar los resultados de la detección de una manera integrada.

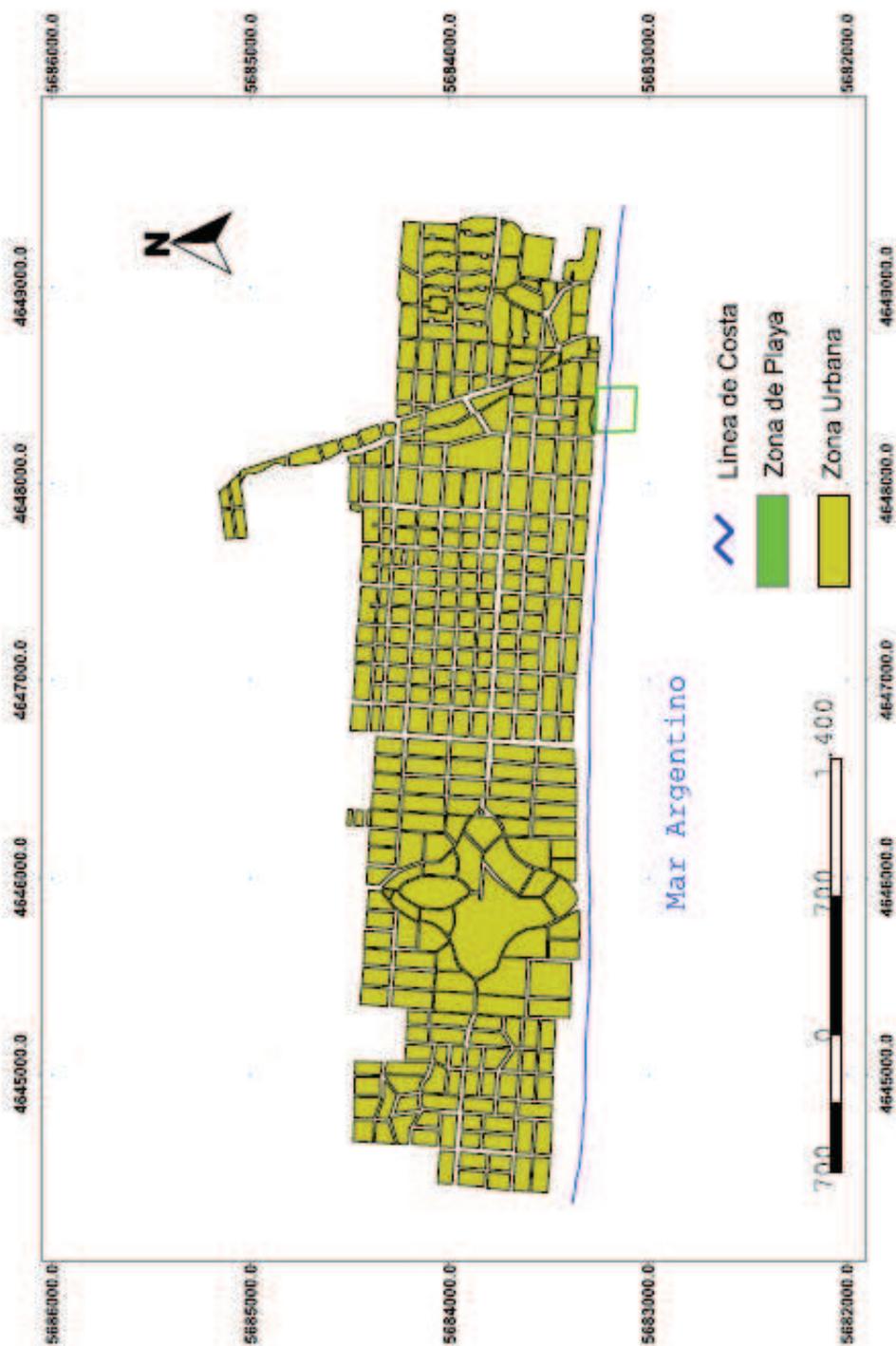


Figura 6.39: Ubicación de la zona de estudio en el plano de la ciudad de Monte Hermoso actualizado a marzo de 2012. El recuadro verde representa la zona de playa considerada.



Figura 6.40: Representación en el SIG de la línea de ribera (azul) detectada en forma automática en el área de estudio definida en el balneario Monte Hermoso. Esta corresponde al día 26-02-2010 en horarios cercanos a bajamar.

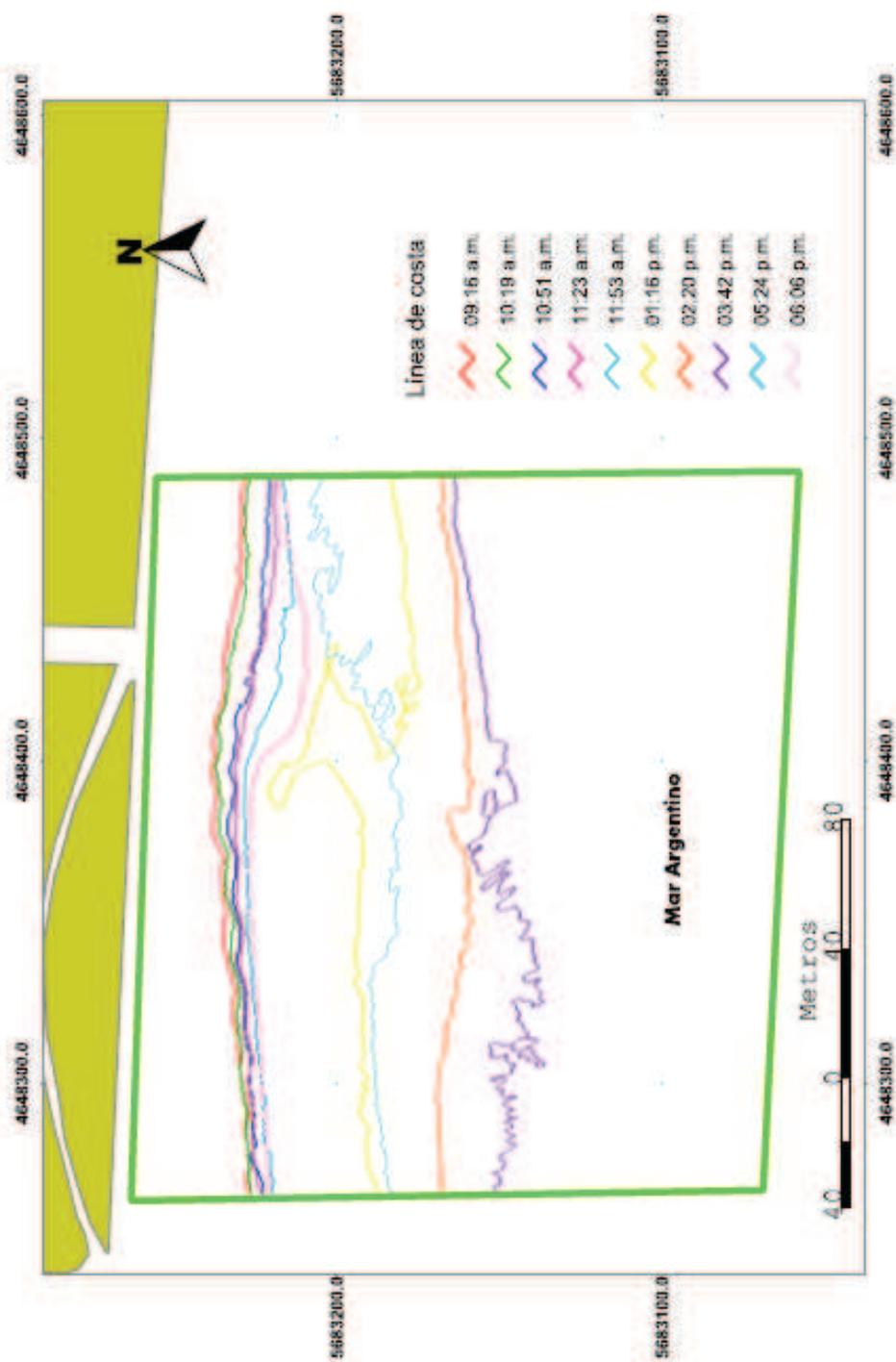


Figura 6.41: Representación en el SIG de un conjunto de líneas de ribera detectadas en forma automática en el balneario de Pehuén Co durante el día 13-02-2012 en distintos horarios y bajo diferentes condiciones de marea.

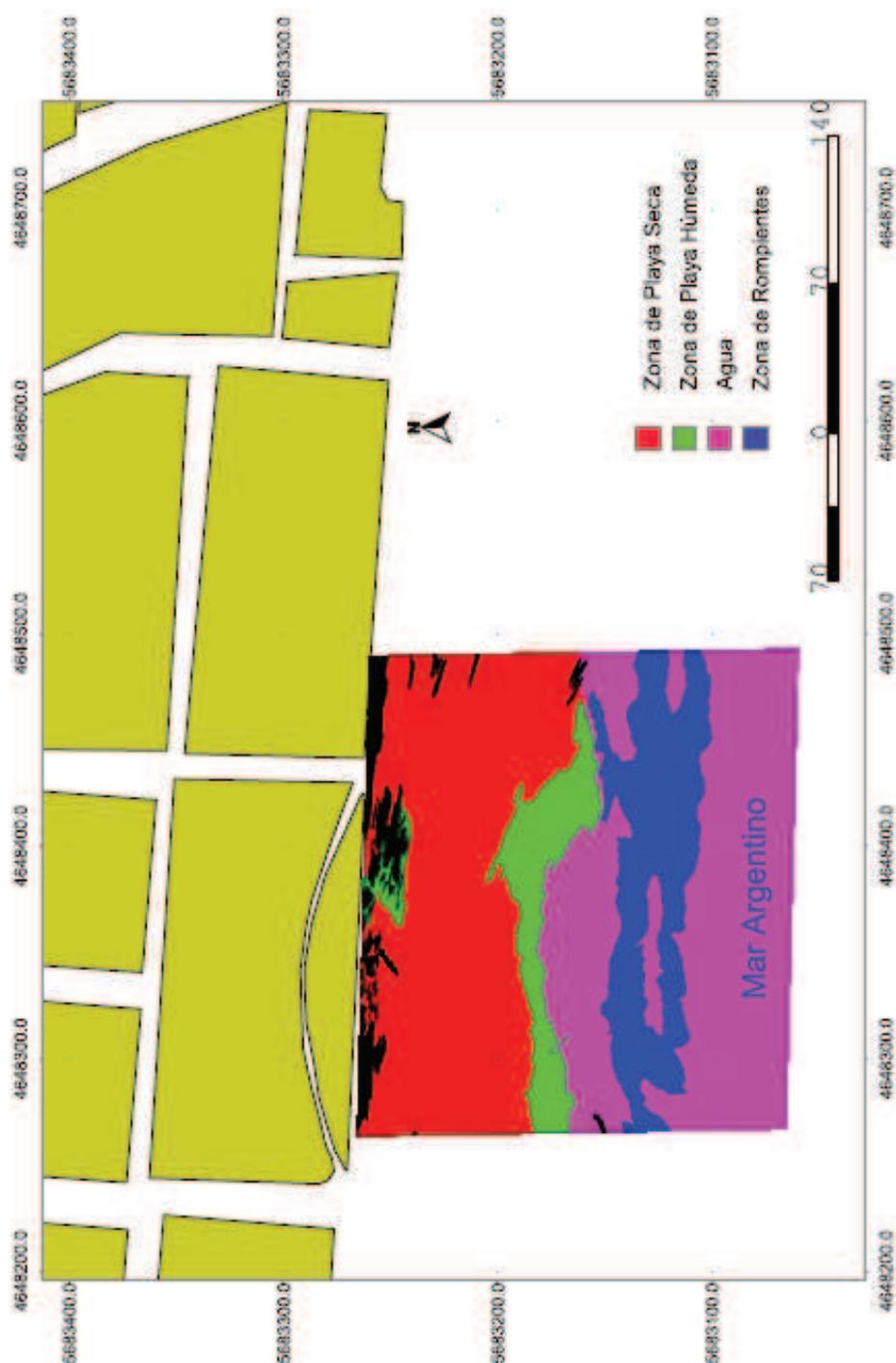


Figura 6.42: Representación en el SIG de las zonas de la playa detectadas en forma automática en el área de estudio definida en el balneario Monte Hermoso durante el día 26-02-2010 en horarios cercanos a bajamar. Zona de playa seca (rojo), zona de playa húmeda (verde), zona de rompientes (azul) y agua (magenta).

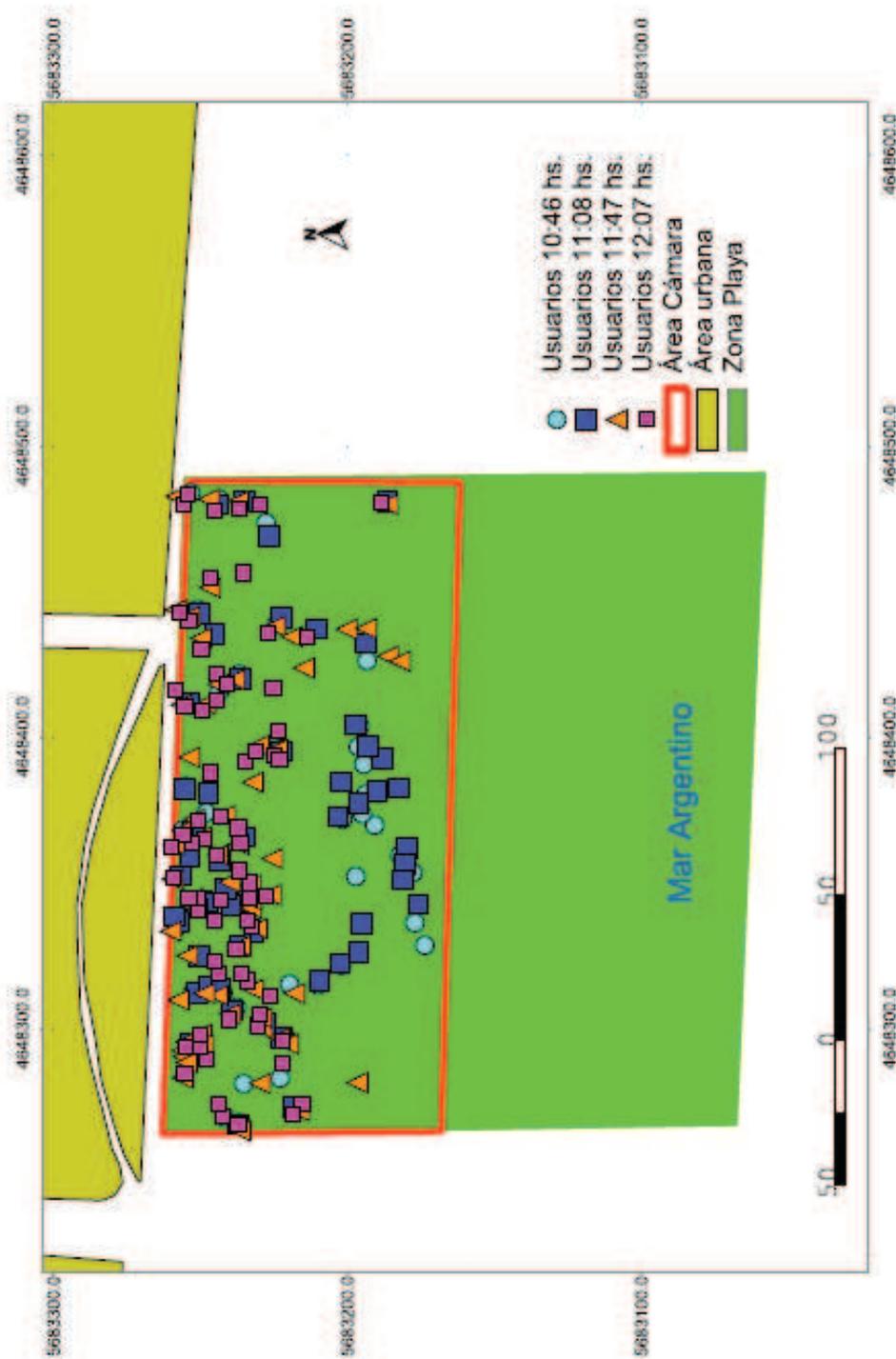


Figura 6.43: Representación en el SIG de los usuarios detectados en forma automática en el área de estudio definida en el balneario Monte Hermoso durante el día 26-02-2010 en horarios cercanos a bajamar.

Capítulo 7

Conclusiones

El procesamiento de videos e imágenes, como una tecnología alternativa para la obtención de información de forma automática, es usado en el desarrollo de aplicaciones en diferentes ciencias. Actualmente los mayores avances se dan en disciplinas como el análisis de imágenes médicas, de microscopía o de observación de la tierra provenientes de misiones satelitales, entre otras. Al mismo tiempo, el desarrollo tecnológico asociado a estas disciplinas ha favorecido la evolución de los dispositivos de video sobre los que se sustentan tales avances. Sin embargo, esta tecnología resulta muy específica y en consecuencia el procesamiento de imágenes es aún una herramienta poco explotada en otras áreas.

Por otro lado, el monitoreo ambiental costero está emergiendo en la actualidad como un componente crítico en una gran cantidad de actividades de relevancia económica, social y productiva. La fijación de políticas gubernamentales, la respuesta frente a catástrofes o desastres naturales, la determinación de cambios ambientales debido a causas naturales o humanas, el monitoreo con objetivos de seguridad son algunas de sus aplicaciones. En particular, las playas son ambientes dinámicos que presentan cambios morfológicos importantes debido a factores ambientales como mareas, olas y vientos. Estos ambientes deben ser estudiados en períodos continuos, para lo cual es útil disponer de información generada automáticamente sin necesidad de recolectarla *in situ*.

El manejo costero requiere conocer diferentes variables relacionadas con la geomorfología y dinámica de la playa, así como la cantidad de personas o vehículos presentes en ellas. Estos datos no siempre están disponibles debido a la imposibilidad de recolectarlos por métodos tradicionales *in situ*, que pueden ser afectados por las condiciones meteorológicas, imposibilidad de acceso a la zona de estudio, elevado costo de planificación de campañas u operación de equipos.

Lo mencionado anteriormente hace que la conformación de grupos interdisciplinarios para resolver problemas relacionados con el medioambiente sea de vital importancia. Esto permite entender el problema a resolver a partir de la especificación de requerimientos de un conjunto de expertos, cuyas necesidades se basan en los conocimientos adquiridos en un tema particular, formando pilares fundamentales para el desarrollo de nuevas tecnologías de las ciencias básicas e ingeniería.

Bajo el concepto anterior, esta tesis presenta el desarrollo de métodos y técnicas basados en visión por computadora para la extracción de información de características de la playa. El trabajo se orientó a la generación de herramientas de software que puedan ser utilizadas por profesionales cuya labor requiere del relevamiento y análisis de información relacionada con la playa. Adicionalmente, se estudió la factibilidad de automatizar y reemplazar técnicas convencionales que son empleadas actualmente en este tipo de investigaciones.

La metodología propuesta para la adquisición de información a partir de la captura de videos permite almacenar datos de la playa durante un período especificado. El almacenamiento de estos videos es la primera diferencia con otros proyectos de monitoreo costero con video cámaras, ya que éstos sólo almacenan imágenes instantáneas. Esto permitirá observar o reproducir el estado de la playa en cualquier instante del período muestreado.

El principal aporte del capítulo de adquisición de datos es la obtención de información cualitativa del estado de la playa en forma automática, mediante la generación de la imagen media y de varianza. La imagen media es la imagen más representativa del estado de la playa durante el tiempo de muestreo. A partir de ella se pueden distinguir y docu-

mentar algunas características como canales de marea o medialunas de playa. En tanto, la información dinámica se concentra en las imágenes de varianza, donde el fenómeno más visible es la zona de rompientes.

Avanzando con el desarrollo de metodologías y técnicas de PDI, en el capítulo III se presentaron las herramientas para la extracción y medición de la línea costera en imágenes medias. En primer lugar, la diferenciación de zonas de agua y tierra es posible mediante un algoritmo de clasificación a partir de un conjunto de patrones representativos de cada una de ellas. Conociendo dichos patrones, la clasificación se logra en forma automática. Habiendo determinado ambas zonas, la línea de interacción se obtiene utilizando algoritmos de extracción de bordes. Luego de estudiar varios métodos de representación, se decide trabajar con el Teh Chin Chain y el método MSI, por ser estos los que más aproximan los resultados a los valores reales que fueron verificados con técnicas de medición manuales. Se concluye que la herramienta desarrollada permite detectar y medir automáticamente la línea de ribera, con un alto grado de fiabilidad y precisión según los resultados obtenidos.

Otro de los puntos estudiados en la tesis comprendió la clasificación de zonas de la playa. Específicamente, la clasificación incluye las zonas de playa seca, playa húmeda, rompientes y zona de lavado. El método empleado se basa en la elección de grupos de píxeles prototipos que sirven como modelo de cada una de las zonas. Debido a las características propias del tipo de imágenes sobre las que se trabaja, fue necesario investigar el comportamiento del algoritmo en diferentes espacios cromáticos. Luego de comparar resultados a partir de los espacios RGB e YIQ, se optó por utilizar únicamente los canales Y e I del segundo modelo, siendo éstos donde más se diferencia la separación cromática de los prototipos. Además de la clasificación, se logró obtener las mediciones de las áreas y perfiles de cada zona, tanto en forma porcentual en el plano de la imagen como en forma cuantitativa en unidades reales sobre el terreno. El algoritmo trabaja bajo diferentes condiciones meteorológicas y técnicas.

En este sentido, el método desarrollado representa un avance importante en la detección y medición automática de zonas de playa. Este es un aporte significativo en el área,

ya que no ha sido estudiado aún y su aplicación puede ser variada. A modo de ejemplo, mediante los datos obtenidos es posible la realización de modelos dinámicos de la interacción de las diferentes zonas de la playa, aunque en esta tesis no se profundiza en dicha aplicación.

Por otro lado, en el capítulo V, se abordó la estimación de la cantidad de personas en la playa. Inicialmente se trabajó sobre imágenes medias, en las cuales únicamente se pueden observar aquellos usuarios que permanecieron en ubicaciones fijas durante el tiempo de grabación. La clasificación usuario/fondo representa uno de los puntos con mayor complejidad en el desarrollo de la tesis. Varios factores influyen en tal aspecto, debiendo mencionar principalmente la falta de resolución de las cámaras convencionales y la gran dificultad para definir modelos de usuarios. En el primer caso, la baja resolución hace que el efecto de pixelado no permita distinguir claramente el objeto persona. También resulta delicada la definición de modelos teniendo en cuenta que, por ejemplo, solamente la ropa genera un amplio rango de intensidades de acuerdo a su color.

Actualmente la estimación de la cantidad de personas es uno de los temas de interés en los proyectos de monitoreo costero a nivel mundial. Dicho interés permitió aplicar los métodos desarrollados sobre imágenes instantáneas de cámaras de alta resolución, provistas por cortesía del proyecto HORUS. A partir de la colaboración en dicho proyecto, se logró mejorar la calidad de los resultados.

En la etapa final de la tesis, la información obtenida mediante técnicas de PDI fue integrada en un Sistema de Información Geográfico. Sobre dicho sistema se presentó un ejemplo de aplicación de las metodologías para la generación de modelos del comportamiento de la playa. De esta manera, las características extraídas a partir de imágenes pueden ser georreferenciadas, almacenadas en una base de datos o comparadas con información proveniente de otras fuentes.

A modo global, se concluyó la generación de herramientas basadas en visión por computadora que permiten el análisis cualitativo y la medición cuantitativa de diversas características de la playa. Considerando los resultados obtenidos, se pretende usar

las herramientas presentadas como base para el diseño, desarrollo e implementación de un sistema de monitoreo visual costero.

Como trabajo futuro se pretende la integración de las herramientas desarrolladas en un único sistema de monitoreo costero. A las funcionalidades actuales del sistema se proyecta el desarrollo de herramientas para la medición de medialunas de playa, del tamaño de canales además del área y distribución de los afloramientos de rocas en ambas zonas de estudio. También se concluye que resulta necesario incrementar el número de cámaras en puntos estratégicos de los balnearios con el fin de abarcar una mayor superficie. La información suministrada estará a disposición de organismos privados y públicos vinculados a la gestión de zonas costeras.

Bibliografía

- Aarninkhof, S. (2003). Nearshore Bathymetry derived from Video Imagery. PhD Thesis-Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
- Avila, A., Baquerizo, A., y Losada, M. (2008). Edge wave scattering by coastal structures on arbitrary bathymetry. *Journal of Coastal Research*, 24(6):pp. 1536–1544.
- Benavente, J., Bello, E., Infuso, G., Nachite, D., and Macias, A. (2007). Sobreelevación debida a temporales y cambios producidos en las playas del litoral NE Marroquí. *Cuaternario y Geomorfología*, 21(1):13–25.
- Birkemeier, W. (1979). The effects of the 19 december 1977 coastal storm on beaches in North Carolina and New Jersey. *Shore and Beach*, 47(1):7–15.
- Bow, S. T. (2002). *Pattern Recognition and Image Preprocessing*. Marcel Dekker, New York, NY, USA.
- Bowen, A. J. y Inman, D. L. (1969). Rip currents 2. laboratory and field observations. *Journal of Geophysical Research*, 74(23):pp. 5479–5490.
- Bowen, A. J. y Inman, D. L. (1971). Edge waves and crescentic bars. *Journal of Geophysical Research*, 76(36):pp. 8662–8671.
- Bradley, P. S. y Fayyad, U. M. (1998). Refining initial points for K-Means clustering. In *Proc. 15th International Conf. on Machine Learning*, pages 91–99. Morgan Kaufmann, San Francisco, CA.

- Bustos, M. L., Piccolo, M. C., y Perillo, G. M. E. (2011). Efectos geomorfológicos de fuertes vientos sobre playas. El caso de la playa de Pehuén Co, Argentina. *Cuadernos de Investigación Geográfica* N° 37, 37(1):121–142.
- Chen, Q., Luo, J., Heng, P., and Dshen, X. (2007). Fast and Active Texture Segmentation Based on Orientation and Local Variance. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 18(2):119–129.
- Cheng, H., Jiang, X., y Wang, J. (2001). Color Image Segmentation: Advances and Prospects. *Pattern Recognition*, 34(1):259.
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de teledetección espacial*. Ediciones Rialp, S.A, Madrid, España.
- Chuvieco, E. (2008). *Teledetección Ambiental*. Ariel, Barcelona, España.
- Cipolletti, M. P., Delrieux, C. A., Perillo, G. M., y Piccolo, M. C. (2012). Superresolution Border Segmentation and Measurement in Remote Sensing Images. *Computers & Geosciences*, 40(0):87–96.
- Comaniciu, D. y Peter, M. (1995). Mean Shift: A Robust Approach Toward Feature Space Analysis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (IEEE)*, 24(5):603–619.
- Constantin, A. (2001). Edge waves along a sloping beach. *Journal of Physics A: Mathematical and General*, 34(45):9723.
- Duda, R., Hard, P., y Stork, D. (2001). *Pattern Classification*. 2nd ed. John Wiley, New York, NY, USA.
- Freeman, H. (1980). *Tutorials and Selected Readings in Interactive Computer Graphics*. IEEE Press.

- Friedman, H. y Rubin, J. (1967). On some invariant criteria for grouping data. *Journal of the American Statistical Association*, 62(320):pp. 1159–1178.
- Fukunaga, K. y Hostetler, L. (1975). The estimation of the gradient of a density function, with applications in pattern recognition. *Transactions on Information Theory*, 21(1):32–40.
- Girard, C. M. y Girard, M. C. (1999). *Processing of Remote Sensing Data*. Dunod, Paris.
- González, R. y Woods, R. (1996). *Digital Image Processing*. Addison-Wesley, Wilmington, USA.
- Graefe, A., Vaske, J., y Kuss, F. (1984). Social carrying capacity: An integration and synthesis of twenty years of research. *Leisure Sciences*, 6(4):395.
- Guza, R. T. y Inman, D. L. (1975). Edge waves and beach. *Journal of Geophysical Research*, 80(21):pp. 2997–3012.
- Haralick, R. y Kelly, G. (1969). Pattern recognition with measurement space and spatial clustering for multiple images. *IEEE*, 57(1):pp. 654–665.
- He, R. y Zhu, Y. (2009). A hybrid image segmentation approach based on mean shift and fuzzy c-means. In *Proceedings of the 2009 Asia-Pacific Conference on Information Processing - Volume 01*, APCIP '09, pages 105–108, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Hill, H. W., Kelley, J. T., Belknap, D. F., y Dickson, S. M. (2004). The effects of storms and storm-generated currents on sand beaches in Southern Maine. *Marine Geology*, 210(1):149–168.
- Holman, R. y Stanley, J. (2007). The History and Technical Capabilities of Argus. *Coastal Engineering*, 54:477–491.

- Huamantínco Cisneros, M. A. (2012). *Efectos de la variabilidad climática del balneario Monte Hermoso sobre la geomorfología costera y el confort climático*. PhD thesis, Argentina - Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional del Sur.
- Ilea, D. y Whelan, P. (2011). Image Segmentation Based on the Integration of Color-Texture Description - A Review. *Pattern Recognition*, 44(1):2479–2501.
- Jensen, J. R. (2000). *Introductory Digital Image Processing. A Remote sensing Perspective*. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, N.J., second edition.
- Komar, P. (1998). *Beach processes and sedimentation*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey and Boston.
- Leatherman, S. P. (1979). Beach and dune interactions during storm conditions. *Quarterly Journal of Engineering Geology & Hydrogeology*, 12(1):281–290.
- Lerma (2002). *Fotogrametría Moderna: Analítica y Digital*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- Lillesand, T. y Kiefer, R. (2000). *Remote Sensing and Image Interpretation (4th. ed.)*. Wiley & Sons, New York.
- Lippmann, T. y Holman, R. (1989). Quantification of sand bar morphology: A video technique based on wave dissipation. *J. Geophysic. Res*, 94(C1):75–95.
- Lippmann, T. C., Holman, R. A., y Bowen, A. J. (1997). Generation of edge waves in shallow water. *J. Geophys. Res.*, 102(1):8663.
- Lizárraga Arciniega, R., Martínez Días de León, A., Delgado González, O., Rodrigo Torres, C., y Galindo Bect, L. (2007). Fast and Active Texture Segmentation Based on Orientation and Local Variance. *Ciencias Marinas*, 33(3):259–269.
- MacQueen, J. B. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In Cam, L. M. L. y Neyman, J., editors, *Proc. of the fifth Berkeley Sym-*

- posium on Mathematical Statistics and Probability*, volume 1, pages 281–297. University of California Press.
- Malyszko, D. y Wierzchon, S. (2007). Standard and genetic k-means clustering techniques in image segmentation. In *Computer Information Systems and Industrial Management Applications, 2007. CISIM '07. 6th International Conference on*, pages 299–304.
- Morris, B., Davidson, M., y Huntley, D. (2001). Measurements of the response of a coastal inlet using video monitoring techniques. *Marine Geology*, 175:251–272.
- Navon, E., Miller, O., y Averbuch, A. (2005). Color Image Segmentation Based on Adaptive Local Thresholds. *Image and Vision Computing*, 23(1):69–85.
- Osorio, A., Medina, R., y Gonzalez, M. (2012). An algorithm for the measurement of shoreline and intertidal beach profiles using video imagery: Psdm. *Computers & Geosciences*, (0):–.
- Osorio Arias, A., Pérez, J., Ortiz Alarcón, C., y Medina, R. (2007). Técnicas basadas en imágenes de video para cuantificar variables ambientales en zonas costeras. In *Artificial Intelligence: Methodology, Systems and Applications*, pages 51–64. ISSN 0121-5701, Avances en Recursos Hidráulicos.
- Payne, George (2012). Cam-era monitoring system.
- Pereira da Silva, C. (2002). Beach Carrying Capacity Assessment: How important is it? In *ICS 2002 Proceedings*, pages 190–197.
- Perillo, G. M. (2003). *Dinámica del transporte de sedimentos*. Asociación Argentina de Sedimentología, Buenos Aires, Argentina.
- Piedra Cueva, I. (2006). Un enfoque integrado para la gestión sustentable del agua - Experiencias de cooperación. In *Un enfoque integrado para la gestión sustentable del agua - Experiencias de cooperación*, pages 1–50. Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua (CETA).

- Pozo, O. D. (2001). *El proceso de urbanización y degradación ambiental del ecosistema costero: Municipio de Monte Hermoso. Provincia de Buenos Aires*. PhD thesis, Argentina - Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional del Sur.
- Pratt, W. K. (1991). *Digital Image Processing*. Wiley-Interscience, New York.
- Pritchard, D. (1977). U. S. color television fundamentals-a review. In *IEEE Trans. Consumer Electronics*, pages 267–278. The Institute of Electric and Electronic Engineering.
- Redmond, S. J. y Heneghan, C. (2007). A method for initialising the k-means clustering algorithm using kd-trees. *Pattern Recognition Letters*, 28(8):965 – 973.
- Saha, S. y Bandyopadhyay, S. (2010). Application of a multiseed-based clustering technique for automatic satellite image segmentation. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 7(2):pp. 306–308.
- Schowengerdt, R. (1997). *Remote Sensing Models and Methods for Image Processing (2th. ed.)*. Academic Press, San Diego.
- Serra, J. (1983). *Image Analysis and Mathematical Morphology*. Academic Press, Inc., Orlando, FL, USA.
- Shelby, B. y Heberlein, T. (1984). A conceptual framework for carrying capacity determination. *Leisure Sciences*, 6(4):33.
- Short, A. D. (1975). Multiple offshore bars and standing waves. *Journal of Geophysical Research*, 80(27):pp. 3838–3840.
- Smit, M., Aarninkhof, S., Wijnberg, K., González, R., Kingston, K., Southgate, H., Ruessink, B., Holman, R., E., S., Davidson, M., y Medina, R. (2007). The role of video imagery in predicting daily to monthly coastal evolution. *Coastal Engineering*, 54:539–553.

- Smith, A. (1978). Color gamut transform pairs. In *Computer Graphics*, pages 12–19, SIGGRAPH Proceedings.
- Stankey, G. y McCool, S. (1984). Carrying Capacity in Recreational Settings: Evolution, Appraisal, and Application. *Leisure Sciences*, 6(4):453.
- Takewaka, S., Misaki, S., y Nakamura, T. (2003). Dye diffusion experiment in a longshore current field. *Coastal Engineering Journal*, 45(3):–.
- Teh, C. H. Chin, R. (1989). On the Detection of Dominant Points on Digital Curves. In *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 11(8):859–872.
- Vaquero, M. y Pascale, J. C. (2003). La definición del perfil turístico a través de la aplicación de un modelo de planificación participativa Plan de Desarrollo Turístico del Partido de Monte Hermoso. In *II Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense*, pages 613–623. Universidad Nacional del Sur.
- Vaquero, M., Rodríguez, M., y Trellini, M. (2007). El turismo residenciado en Monte Hermoso. En: Ambiente natural, campo y ciudad, estrategias de uso y conservación en el sudoeste bonaerense. In *Actas de las IV Jornadas interdisciplinarias del sudoeste bonaerense*, pages 201–206. Universidad Nacional del Sur.
- Yatabe, S. y Fabbri, A. (1986). The application of remote sensing to canadian petroleum exploration: promising and yet unexploited. *Computers & Geosciences*, 12(4):597 – 609.
- Yizong, C. (1995). Mean Shift, Mode Seeking, and Clustering. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (IEEE)*, 17(8):190–197.
- Yu, L. y Liu, H. (2003). Feature selection for high dimensional data: A fast correlation based filter solution. In *in ICML*, pages 856–863.
- Zheng, L., Zhang, J., y Wang, Q. (2009). Mean-shift-based color segmentation of images containing green vegetation. *Comput. Electron. Agric.*, 65(1):93–98.