

PROPUESTA DE LÍMITE FUNCIONAL DEL HUMEDAL A PARTIR DE CRITERIOS HIDROLOGICOS EN LA VENTANA PILOTO CIÉNAGA DE LA VIRGEN A ESCALA 1:25.000

Contrato de prestación No. 15-13-014-065PS Instituto Humboldt – Diego Fernando Restrepo Zambrano

Objeto: Prestar los servicios profesionales para desarrollar el análisis de las dinámicas hidrológicas de los humedales relacionadas con: a. Definición y construcción de criterios hidrológicos para ser implementados en la clasificación nacional de humedales, b. Desarrollo de la metodología de delimitación de humedales, usando información hidrológica a escala 1:25.000 y c. Generación de una propuesta de límite para los complejos de humedal, al interior de cada una de las tres ventanas piloto a escala 1:25.000; todas estas en desarrollo de las actividades enmarcadas en el Convenio N° 13 - 014 (FA.005 de 2013) suscrito entre el Fondo Adaptación y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos “Alexander von Humboldt”.



Convenio interadministrativo 13-014 (FA 005 de 2013) Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt - Fondo Adaptación

Subdirección de Servicios Científicos y Proyectos Especiales
Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt
Bogotá, D.C., 2015



Propuesta de Delimitación para la Ventana de la Ciénaga de la Virgen. Componente Hidrológico

Contrato No 15-13-014-065PS

Diego Fernando Restrepo Zambrano, I.C, Msc Water Science
20/12/2015

Versión 1

Producto 6. Un documento que contenga recomendaciones para la propuesta de delimitación de la ventana de la Ciénaga de la Virgen con base en el análisis de información hidrológica a escala 1:25.000 entregada a la unidad ejecutora, complementada con información hidrológica del IDEAM.

Tabla de contenido

1	Introducción	4
2	Resumen Ejecutivo	5
3	El Pulso de Inundación y sus Atributos	6
3.1	Amplitud	6
4	Caracterización Hídrica de la Ciénaga de la Virgen	9
5	Delimitación de Humedales	13
5.1	La Amplitud como Indicador del Límite de la Ciénaga de la Virgen.....	13
5.2	Delimitación de humedales usando sensores remotos	14
5.2.1	Metodología.....	15
5.2.2	Propuesta de delimitación de la ventana de la Ciénaga de la Virgen, con base en el análisis de información Satelital a escala 1:25.000.....	24
6	Anexos	30
7	Bibliografía.....	30

Tabla de Figuras

Figura 1 Representación grafica de la secuencia de pulsos. tomado de Neiff et al (1994).	7
Figura 2 El pulso de inundación, Junk 1984.	7
Figura 3 Definición de la Amplitud del pulso de inundación	8
Figura 4 Balance Hídrico Ciénaga de la Virgen, Elaboración propia; información tomada de: Ramírez (2003). Secretaria de Planeación Distrital de Cartagena.	10
Figura 5 Cuencas de drenaje a la Ciénaga de la Virgen, Tomado del POMCA de la Ciénaga de la Virgen, 2004.	11
Figura 6 Compuertas de La Bocana, Google Maps, 2015.	12
Figura 7 Tabla comparativa Landsat.	15
Figura 8 Parte superior: Bandas sensor Landsat 8- Parte inferior: Sensor Landsat 7. (PANCROMA Satellite Image Processing, 2013).....	17
Figura 9 Metadatos Ciénaga de la Virgen 2015, (USGS,2015).	18
Figura 10 Mapa NDVI – Ciénaga de la Virgen.....	20
Figura 11 Tabla de áreas de entrenamiento para la clasificación supervisada.	21
Figura 12 Mapa clasificación supervisada para Ciénaga de la Virgen.	22
Figura 13 Mapa de clasificación Ciénaga de la Virgen, 1) (Amarillo) Zona inundada, 2) (Rojo) Zona Seca.	23
Figura 14 Mapa de cambio en mancha de inundación Ciénaga de la Virgen. 1) (Amarillo) Zona inundada en ambos periodos, 2) (Azul cian) Zona seca que paso a inundad, 3) (Azul) Zona inundada que paso a seca, 4) (Rojo) Zona seca en ambos periodos.....	23
Figura 15 Mapa NDVI Ciénaga de la Virgen, Cartagena - Colombia.	25
Figura 16 Mapa NDVI Ciénaga de la Virgen, Comparación Época Humeda-Seca, Cartagena - Colombia.....	26
Figura 17 Caudal, Precipitación Vs Tiempo, Ciénaga de La Virgen.	27
Figura 18 Mapa de Matrices de Confusión, Ciénaga de la Virgen, Cartagena - Colombia.28	
Figura 19 Mapa colores reales, Ciénaga de la Virgen, Cartagena - Colombia.	29

1 Introducción

Dentro del marco del Convenio 13-014 (FA. 005 de 2013) entre el Fondo de Adaptación y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos "Alexander von Humboldt", con el objeto de *"Aunar esfuerzos económicos, técnicos y administrativos para la delimitación, por parte de de EL MINISTERIO, de los ecosistemas estratégicos priorizados (Páramos y Humedales) en el marco del Convenio No. 008 de 2012 (cuencas hidrográficas afectadas por el Fenómeno de La Niña 2010-2011)"* El contratista desarrolla el sexto producto en el presente informe, el cual contiene; *"Un documento que contenga recomendaciones para la propuesta de delimitación de la ventana de la Ciénaga de la Virgen, con base en el análisis de información hidrológica a escala 1:25.000 entregada a la unidad ejecutora, complementada con información hidrológica del IDEAM.."*

El agua es la vida de los humedales, el ciclo hidrológico, el comportamiento de las lluvias, la cobertura de vegetación y la geología son aspectos que definen la escorrentía y la infiltración del agua. Estos aspectos definen la cantidad de agua que llegará y saldrá del humedal, generando condiciones especiales para el hospedaje de la vida. El constante cambio en el almacenamiento de agua se define como el pulso de inundación, que es de vital importancia para todos los humedales, pues sus atributos determinan los tipos de ecosistemas que se pueden llegar a desarrollar. Debido a que los humedales cuentan con características especiales que definen los ecosistemas, Wolfgang J.Junk propuso algunos atributos con los que se clasificaron los humedales en Brasil. La longitud, amplitud, frecuencia, temporalidad y la predictibilidad son útiles para clasificar los humedales y fueron utilizados con este fin en diferentes proyectos de Latinoamérica.

El presente informe contiene la propuesta para la delimitación del humedal Ciénaga de la Virgen desde el punto de vista hidrológico. En primera instancia se utiliza el concepto de "Pulso de Inundación" y se describen sus atributos. Esto con el fin de presentarlos ya que la amplitud será un atributo utilizado para determinar el límite de la ciénaga, y su volumen de agua disponible. Luego de realizar el análisis del pulso de inundación, y una vez analizada la topografía entregada por el instituto, se desarrolla un análisis de imágenes satelitales. El análisis de sensores remotos se realizó utilizando imágenes del satélite Landsat, el cual genera imágenes semanales de distintos lugares del planeta. Estas imágenes son procesadas y analizadas para determinar la presencia de cuerpos de agua. A si mismo se hace un análisis multitemporal de la imagen a partir de la información hidrológica para determinar las zonas inundables para un periodo seco y un periodo húmedo. Los mapas finales se presentan como anexos al informe.

2 Resumen Ejecutivo

El agua en la tierra está distribuida en variadas formas y lugares: en los océanos, bajo tierra, sobre la superficie y en la atmósfera., Únicamente el 2.5% del agua en nuestro planeta es dulce y está principalmente congelada en casquetes glaciares, el resto de ese 2,5% está principalmente presente como agua subterránea y sólo el 0.4% del total del agua existente se encuentra en la superficie y en la atmósfera.

La presión sobre el recurso hídrico está aumentando de manera alarmante, principalmente como resultado de actividades humanas tales como la urbanización, el crecimiento demográfico, la elevación del nivel de vida, la creciente competencia por el agua, y la contaminación, cuyas consecuencias se ven agravadas por el cambio climático y las consecuentes variaciones de las condiciones naturales.(Witgren,J., 2009).

Por otro lado, se vienen realizando esfuerzos a nivel internacional y local que buscan avanzar en la protección del recurso., Las autoridades evalúan la cantidad y la calidad de agua disponible coordinando esfuerzos de gestión a escala nacional e internacional. Uno de estos esfuerzos es la magnificación y comprensión de los cuerpos hídricos tipo humedal, los cuales tienen importantes papeles en los ecosistemas.

En Colombia la definición que se adopta para los humedales se establece como “... *aquellas extensiones de maritimas, pantanos, turberas o aguas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluyendo las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros*” (Min.Ambiente, 2002). Estos ecosistemas cumplen un papel irremplazable por el sin número de bienes y servicios que afectan y protegen, los cuales van desde la regulación de flujos hídricos –directamente ligados con el control de inundaciones en épocas de lluvias-, la recarga y descarga de acuíferos, la retención y filtración de nutrientes en las cuencas y la acción como biodigestores de los excesos de materia orgánica, siendo parte esencial de la estabilidad e integridad de los ecosistemas asociados. Constituyen además espacios irremplazables para la investigación científica y la educación ambiental. (Naranjo,L.J.,et al. 1999).

La condición natural de los humedales se encuentra en ambientes de baja energía, estas condiciones se dan en aguas con flujos de velocidad baja, como resultado de las bajas pendientes de su topografía. Debido a la topografía plana de los humedales, el área de su espejo de agua se expande y contrae a medida que cambia la cota de la superficie del agua. De esta manera los humedales sirven como moderadores de variabilidad hidrológica, amortiguando volúmenes de inundación y reduciendo velocidades de flujo durante periodos húmedos. La principal ventaja de los humedales y la razón de que sean hábitats naturales de abundante biodiversidad son las condiciones de baja velocidad de flujo, ya que la

bajas pendiente y bajas profundidades de agua, son condiciones óptimas para el depósito y asentamiento de nutrientes y sedimentos.

La dinámica o cambio en el comportamiento en estos fenómenos o ecosistemas es muy alta, por lo cual el estudio y magnificación de estas dinámicas es demasiado complejo para pretender hacerlo directamente en cada humedal existente. Por la importancia de todos y cada uno de estos ecosistemas es necesario implementar y llevar a cabo los monitoreos relacionados con estudios de suelos, hidrología y vegetación, con el objetivo de disponer de las mediciones que permitan tener un control de su cambio con respecto al tiempo y a las variables que los rigen. Con este propósito se dispone ya de herramientas como la teledetección, las imágenes de radar o las imágenes aéreas, las cual dependiendo del instrumento usado nos pueden aportar la cobertura y la calidad espaciotemporal necesaria para llevar a cabo un correcto análisis de cada zona, apoyados en los sistemas de información geográfica (SIG). El sondeo remoto se ha convertido en una herramienta clave para el análisis de estos sistemas de inundación, su evolución geomorfológica y su mapeo. (GIRALDO J., GARCÍA S., 2012)

3 El Pulso de Inundación y sus Atributos

La producción primaria y secundaria en la planicie de inundación de los sistemas de ríos, es la suma de la producción de la fase acuática y la fase terrestre, es decir las fases durante las cuales los humedales están parcialmente secos o inundados. La fertilidad de la planicie de inundación depende de la cantidad de nutrientes en el agua y los sedimentos transportados por el río. La fertilidad puede ser modificada por la calidad del agua de los ríos tributarios y por la escorrentía de las cuencas relacionadas al cuerpo de agua. La longitud, amplitud, frecuencia, temporalidad y la predictibilidad del pulso de inundación, determina la ocurrencia, los ciclos de vida y la abundancia de productores primarios, secundarios, descomponedores, y demás organismos que afectan la explotación y regeneración de los nutrientes así como su abastecimiento. (Junk, 1984).

3.1 Amplitud

El único atributo del pulso de inundación que será utilizado con el fin de delimitar los humedales, será la amplitud. Este atributo indica la fluctuación de los niveles del cuerpo de agua en el tiempo y usando la información histórica de su comportamiento, permite determinar el comportamiento medio de su altura y así mismo su nivel medio natural. A continuación se hace una breve introducción al atributo y se explican sus diferentes metodologías.

Tanto Neiff como Junk tienen diferentes aproximaciones a lo que es el pulso de inundación y sus atributos. Específicamente para el caso de la amplitud, Neiff

define la amplitud del pulso de inundación como el periodo de tiempo entre la inundación, las aguas bajas y el siguiente periodo de aguas altas.



Figura 1 Representación grafica de la secuencia de pulsos. tomado de Neiff et al (1994).

Para Junk el atributo de la amplitud corresponde a la altura de la fluctuación de la lámina de agua en un humedal a lo largo del tiempo, la amplitud del pulso de inundación es un atributo básico para clasificar los humedales debido a que se relación espacial con la biota de área circundante del humedal.

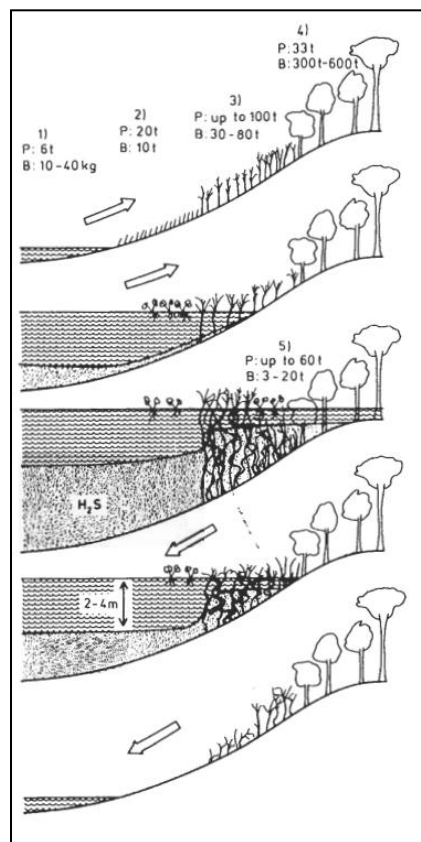


Figura 2 El pulso de inundación, Junk 1984.

El atributo de amplitud del pulso de inundación cumple con una función vital para la caracterización de los humedales, ya que la vegetación que crece en las orillas y dentro del humedal depende totalmente del comportamiento del pulso de inundación y representa con los demás atributos, la fuerza conductora del sistema río-planicie de inundación. Es así como la amplitud puede servir como un indicador de los tipos de vegetación que puede ocurrir en zonas inundables.

La amplitud es un atributo importante para las plantas, grandes amplitudes se traducen en altas profundidades que causan más estrés en las micrófitos y plantas emergentes que el estrés que se causaría en las aguas poco profundas. (Junk, 2006).

Estudios comparativos de micrófitos acuáticos y aves acuáticas en la planicie de inundación central del Río Amazonas y el Pantanal de Mato Grosso señalan la importancia de la amplitud del pulso de inundación para la composición de las especies y las formas de vida del ecosistema. Para el caso de la planicie de inundación del Río Amazonas, una amplitud hasta de 15 metros obstaculiza el crecimiento de las plantas sumergidas y probablemente también el alimento de algunos tipos de aves limícolas. Ambos grupos, especies y plantas, ocurren en abundancia y diversidad en el Pantanal de Mato Grosso, donde la amplitud generalmente está entre 1 y 3 metros. (Junk, 2004).

Siguiendo la metodología utilizada por Junk, se definió la amplitud como la diferencia entre la altura mínima mensual de la estación linnimétrica o linigráfica, con la altura máxima de las medias mensuales. Esto quiere decir que la amplitud total del pulso corresponde a su fluctuación entre el mínimo de los promedios mensuales y la media de las máximas mensuales.

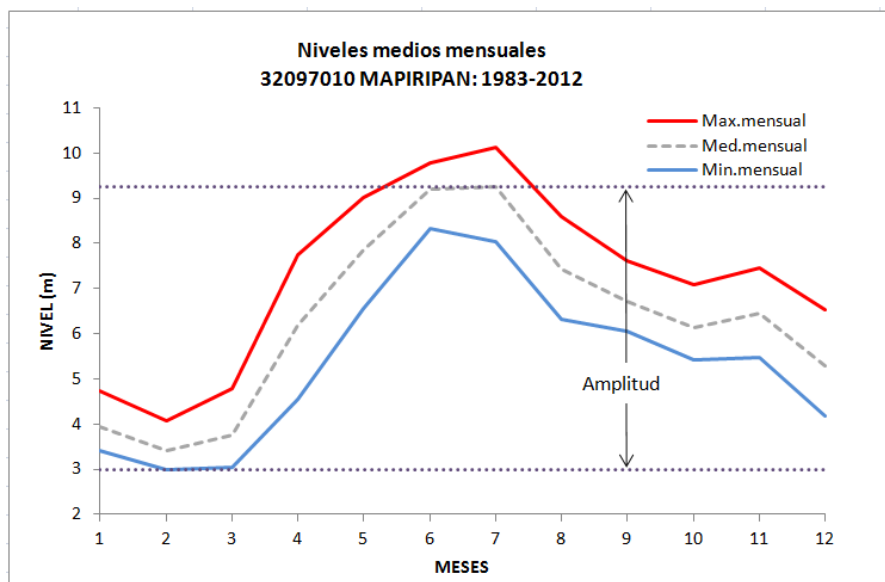


Figura 3 Definición de la Amplitud del pulso de inundación

No se toma la máxima de las máximas mensuales para definir la amplitud debido a que este dato corresponde a un evento extremo. La vegetación circundante del humedal que no hace parte propiamente de su ecosistema, raramente se ve inundada por eventos extremos.

Esto quiere decir que la amplitud nos da un indicador de los límites naturales del humedal, describiendo de forma histórica su comportamiento de niveles. Si esta información se analiza con la topografía y batimetría del humedal, se pueden determinar otras características de delimitación, como el borde de inundación, área del humedal, y volumen de almacenamiento del cuerpo de agua.

4 Caracterización Hídrica de la Ciénaga de la Virgen

La Ciénaga de la Virgen o Ciénaga de Tesca, es humedal de gran importancia regional y local, ésta se encuentra localizada junto a la ciudad de Cartagena de Indias. La ciénaga tiene una longitud aproximada de 7 kilómetros y una superficie aproximada de 502.45 km², conecta con el mar Caribe, lo que permite un continuo intercambio de agua salada y dulce, generando unas condiciones aptas para un ecosistema rico en biodiversidad.

La ciénaga se encuentra bordeada en su margen sur por la vía perimetral, al occidente se encuentra el aeropuerto de Cartagena y la vía al mar que conduce a la ciudad de Barranquilla. Al norte de la ciénaga, proyectos hoteleros y desarrollo urbano, han ocupado grandes extensiones de la ciénaga. El borde oriental de la ciénaga conserva gran parte de su territorio original, pues el uso del suelo en esta zona es netamente rural.

A finales de la década de los 80's se construyó al norte de la ciénaga la banca del anillo vial, quedando el cuerpo de agua obstruido del intercambio de flujo entre el agua salada y el agua dulce. La autoridad ambiental de la época logró que se instalaran tubos que permitieran el intercambio del agua del mar, sin embargo la urbanización causada por el fácil acceso que proporcionaba la vía, causó la urbanización de los predios de la ciénaga por donde existía dicho intercambio. Los asentamientos ilegales sobre algunos predios de la ciénaga han sido causa importante de su deterioro.

La Ciénaga de la Virgen se comunica con los caños y lagunas internas de la ciudad de Cartagena, a través del caño Juan Angola. La ciénaga desaguaba al mar a través de la boca de La Boquilla, al occidente de la ciénaga. El sistema de la Bocana, construido para controlar el aumento de los niveles causados por las lluvias, redujo la apertura natural de la boca de La Boquilla cambiando el flujo natural de la Ciénaga y así mismo aumentando la problemática en otros sectores de Cartagena.

El Balance Hídrico de la Ciénaga de la Virgen se basa en los ingresos y los egresos de agua por diferentes fuentes y usos.

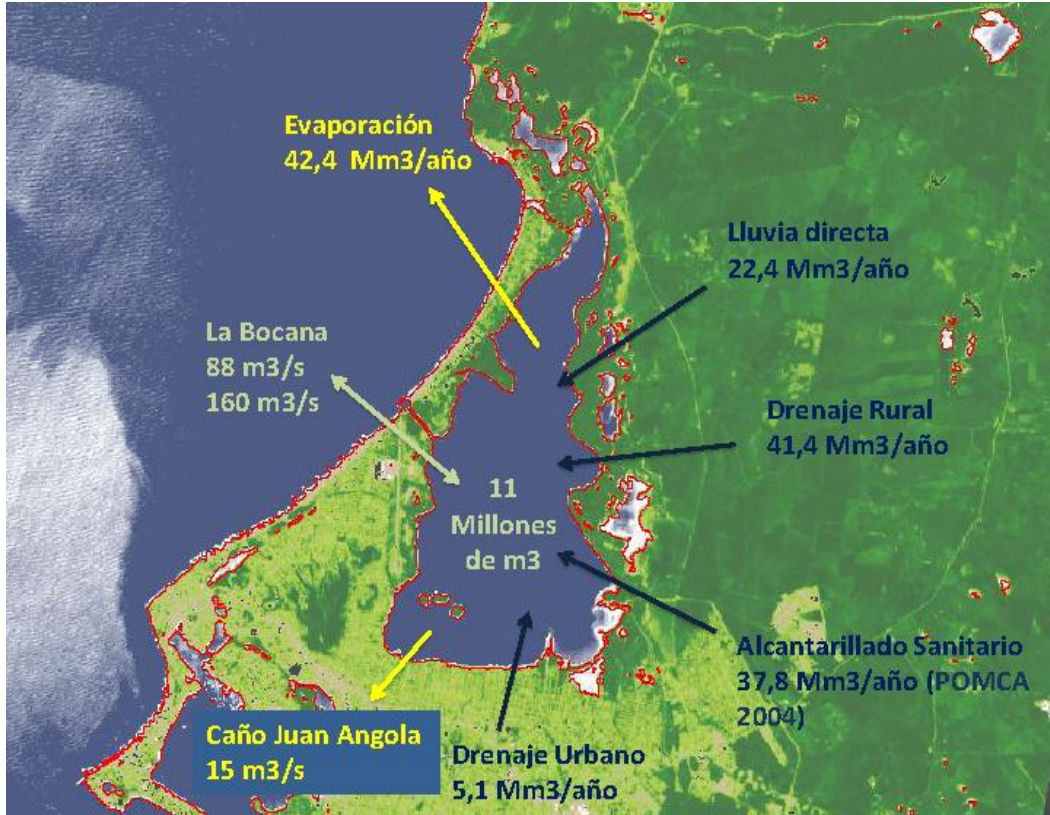


Figura 4 Balance Hídrico Ciénaga de la Virgen, Elaboración propia; información tomada de: Ramírez (2003). Secretaria de Planeación Distrital de Cartagena.

El Drenaje rural, en su mayoría proveniente de la serranía de Turbaco, al oriente de la ciénaga, la mayoría de los cauces naturales que drenaban a la ciénaga han sido intervenidos y han cambiado la recarga natural de la ciénaga. Las corrientes más importantes de la red de drenaje natural corresponde a las cuencas de los arroyos Tabacal y las Hormigas. las cuencas secundarias, de menor tamaño, corresponden a los arroyos Chirricoco, Limón y Matute.

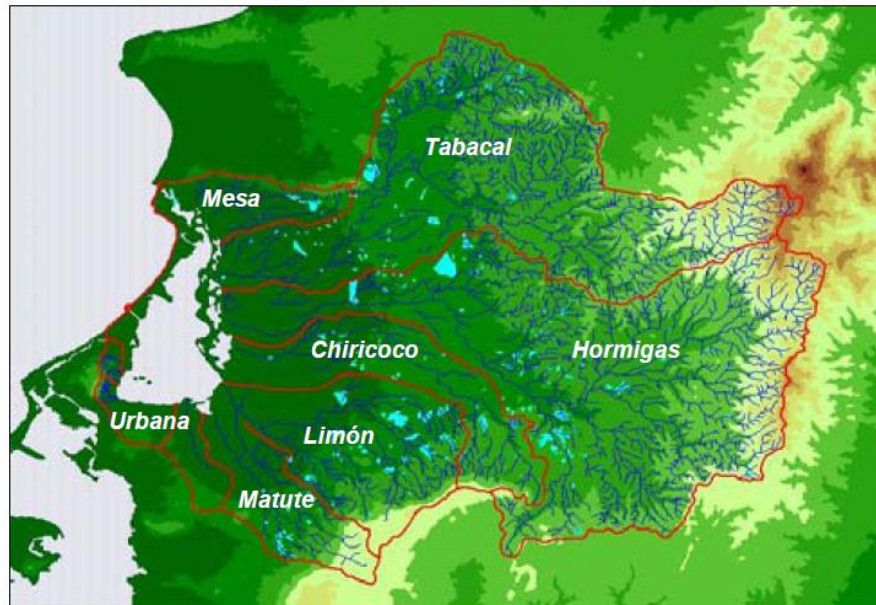


Figura 5 Cuencas de drenaje a la Ciénaga de la Virgen, Tomado del POMCA de la Ciénaga de la Virgen, 2004.

El Drenaje urbano de la Ciénaga, según el POMCA del 2004, la ciénaga cuenta con 17 canales en concreto con longitudes variables de entre 400 y 2000 metros. Tienen un aporte anual a la ciénaga de 5.1 millones de metros cúbicos de agua. Las subcuencas urbanas drenan aproximadamente un 60% del área urbanizada de Cartagena (POMCA, 2004).

Con respecto al aporte de las lluvias sobre la cuenca se sabe que la precipitación media anual en el área de la cuenca es de 1189 mm, que aumenta 800 mm a la orilla del mar, hasta los 1400 mm sobre el costado noreste de la cuenca. Estas diferencias de precipitación en la cuenca se deben a los vientos y la topografía marcada de la cuenca al interior.

El periodo lluvioso ocurre entre los meses de septiembre y noviembre, donde octubre es el mes con mayores precipitaciones, con lluvias registradas de más de 500mm. El Periodo seco se da entre los meses de diciembre y marzo, donde el mes más seco corresponde a febrero. En los últimos 50 años solo ha llovido en 8 ocasiones en este mes (POMCA 2004). En el mes de junio se presenta una pequeña época seca conocida como el veranillo de San Juan, donde después de éste retornan hasta la época lluviosa.

La evaporación media anual es de 188 mm, los valores más altos de evaporación se registran al comienzo del año, aproximadamente en marzo, en el verano, donde alcanzan los 192 mm. El valor más bajo se presenta en la época lluviosa, con unos 131 mm de evaporación en el mes de noviembre.

La circulación de agua en la ciénaga se da principalmente a través de las compuertas de la Bocana, estas permiten la entrada de agua marina que genera una corriente dentro del cuerpo de agua, forzada a dirigirse hacia el sur por una pantalla metálica de 3400 metros de longitud. Forzar el agua hacia el sur tiene el objetivo de mezclarse con los vertimientos de los colectores de agua residual del alcantarillado de la ciudad. Luego el flujo en la ciénaga toma nuevamente dirección norte para dirigirse nuevamente a las compuertas de La Bocana, que por este lado solo permiten la salida de volúmenes de agua hacia el mar. Las compuertas de salida únicamente se abren cuando hay bajamar.



Figura 6 Compuertas de La Bocana, Google Maps, 2015.

La información anteriormente explicada corresponde a la situación de la ciénaga según el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenta Hidrográfica de la Ciénaga de la Virgen, desarrollado en el 2004. Se sabe que se ejecutaron obras correspondientes al plan maestro de alcantarillado, las cuales aliviaron de gran forma los vertimientos que antes se hacían a la ciénaga, a través de la recepción de los vertimientos de aguas residuales de la ciudad y previo tratamiento de las aguas residuales. Los vertimientos de alcantarillado se realizan ahora a través de un emisario submarino de 2.85 kilómetros de longitud, vertiendo directamente al mar.

5 Delimitación de Humedales

5.1 La Amplitud como Indicador del Límite de la Ciénaga de la Virgen

Como se explicó anteriormente la amplitud es un atributo del pulso de inundación, este puede ser utilizado para determinar los límites del humedal, basado en los datos históricos registrados por estaciones presentes en el cuerpo de agua. El análisis de datos históricos puede dar una idea del comportamiento promedio de los humedales en el tiempo y describir desde una primera perspectiva hidrológica la delimitación del humedal.

Para llevar a cabo la delimitación del humedal con base en el atributo de amplitud se deben seguir los siguientes pasos.

Se deberá contar con un registro de niveles producto de una estación limnimétrica o limnigráfica ubicada en el humedal, o muy cerca del mismo, que tenga alguna conexión hídrica con el cuerpo de agua. Este registro se puede solicitar directamente a la entidad propietaria de la estación, puede ser el IDEAM, la empresa de acueducto del municipio o la corporación autónoma regional.

Con la información de los limnímetros y/o limnigrafos, se puede hacer un análisis de niveles máximos mensuales. Para realizar dicho análisis se debe calcular el promedio mensual de todos los registros, y organizar los registros máximos, medios y mínimos mensuales.

A partir de los datos obtenidos con los promedios mensuales de las mediciones históricas, se grafica el comportamiento de los máximos mensuales, medios mensuales y mínimos mensuales. La amplitud está definida como la diferencia en altura entre el mínimo mensual de los promedios mínimos mensuales, y el nivel máximo anual de los promedios medios mensuales. Esta diferencia de alturas representa la amplitud del pulso de inundación, y será utilizada para definir el borde del humedal desde el punto de vista hidrológico.

Con la información topográfica levantada en campo, curvas de nivel y batimetrías, se deberá reconstruir la topografía de toda el área del humedal y sus áreas circundantes. Cabe aclarar que los trabajos de topografía mencionados anteriormente son de vital importancia para el desarrollo del análisis.

Una vez se tiene la topografía del terreno y las batimetrías del humedal, se proceden a realizar un mapa topográfico, sea en 2D o 3D de la totalidad del humedal.

Es muy importante definir en qué cota se encuentra el cero del limnógrafo o limnímetro, pues este nivel deberá ser definido en el modelo digital del terreno o plano topográfico correspondiente. Una vez definido el nivel base del limnímetro, se deberá dibujar esta amplitud en el plano, ya sea en un plano topográfico o por

medio de software que permita la visualización 3d de la lámina de agua sobre el terreno. La cota a la cual se deberá dibujar la lámina de agua será:

$$CP = Ccero + Nmin + Amplitud$$

Dónde:

CP = Cota del Pulso de Inundación

Ccero = Cota donde se encuentra el cero de la mira

Nmin = Nivel mínimo de los promedios mínimos mensuales

Amplitud = Valor de la amplitud del pulso de inundación

Una vez encontrada la cota del pulso de inundación, se puede trazar una línea o sobreponer un plano sobre el mapa o modelo digital del terreno. De esta forma se podrá identificar el borde del humedal para la condición de la media máxima.

Es importante aclarar que esta metodología de delimitación hidrológica es válida únicamente para sistemas lenticos, y no aplica para zonas de amortiguación de ríos. En las planicies de inundación de ríos es más preciso realizar el ejercicio basado en imágenes satelitales.

Debido a que no se contaba con información topográfica y batimétrica de la Ciénaga de la Virgen en la fecha de elaboración del presente informe, no fue posible realizar el análisis anteriormente descrito.

5.2 Delimitación de humedales usando sensores remotos

La tecnología de los sensores remotos o teledetección, es una herramienta que evoluciona rápidamente y posibilita la obtención de datos espacio-temporales y ambientales con el uso de plataformas satelitales, es decir sin la necesidad de entrar en contacto físico con la zona a estudiar, siendo esto una alternativa relativamente económica y eficaz. Para la delimitación de cuerpos de agua el software SIG GRASS proporciona diversos módulos para el procesamiento de estas imágenes, estas serán procesadas convirtiéndolas en datos tipo ráster, por lo cual todos los análisis existentes para este tipo de dato son aplicables. Cabe aclarar que existen otras herramientas de uso libre con las cuales es posible hacer el mismo procesamiento de imágenes, es el caso de Quantum GIS, software de uso libre que cuenta con todos los aplicativos de GRASS. Como resultado de este análisis será posible diferenciar las zonas secas, las zonas de inundación y los cuerpos de agua. El proceso será explicado en el transcurso de este capítulo.

5.2.1 Metodología

Para llevar a cabo este análisis pueden ser empleados diversos productos de servidores y sensores, sin embargo vamos a centrarnos en los productos Landsat 5,7 y 8 los cuales tiene una resolución espacial y radiométrica adecuada.

Los productos captados por el satélite Landsat 5 poseen 7 bandas espectrales siendo 3 de estas visibles, una en infrarrojo cercano, dos en infrarrojo medio y una en infrarrojo termal, estas al igual que sus predecesoras posee resolución de 30 metros.

El satélite Landsat 7 tiene la posibilidad de captar 532 imágenes por día, este se caracteriza por tener una órbita Heliosincrónica, es decir que pasa siempre pasa por el mismo lugar a la misma hora, logrando esto cada 15 días. Este posee 8 bandas, las mismas que su antecesor el Landsat 5 y una nueva banda Pancromática con resolución de 15 metros.

El sensor Landsat 8 posee 11 bandas las cuales 5 de estas son visibles, incluyendo la pancromática, una en infrarrojo cercano uno en infrarrojo medio y otro en lejano, dos bandas termales y una nueva banda para la nubosidad.

	Numero de Bandas	Tipo	Resolución
Landsat 5	7 Bandas	3 Visibles 1 Infrarrojo cercano 2 Infrarrojo medio 1 Infrarrojo termal	30 Metros
Landsat 7	8 Bandas	3 Visibles 1 Infrarrojo cercano 2 Infrarrojo medio 1 Infrarrojo termal 1 Pancromática	30 y 15 Metros
Landsat 8	11 Bandas	3 Visibles 1 Infrarrojo cercano 2 Infrarrojo medio 1 Infrarrojo termal 1 Pancromática 1 Nubosidad 2 Termales	30 y 15 Metros

Figura 7 Tabla comparativa Landsat.

Para determinar las diferencias en las zonas de inundación de las ventanas requeridas para su delimitación requiere búsqueda de las imágenes satelitales ópticas del sensor Landsat 8 que cubran el sitio de interés y que tengan un porcentaje de nubosidad bajo, para que sea posible apreciar los cuerpos de agua existentes y que estos no estén afectados por fenómenos climáticos que interfieran con la correcta recolección de datos.

De la página web del gobierno de Estados Unidos (<http://earthexplorer.usgs.gov>) se descargaron dos imágenes:

Esta selección se basa en la época del año que se considera seca para la región, debido a la baja nubosidad que se va a presentar durante el verano posibilitando una clara vista de las zonas de inundación, además de la disminución en el nivel de las aguas debido a la falta de lluvias, característica de este periodo, por lo cual estas pueden estar espaciadas por un mes o 2 semanas.

La selección del sensor Landsat 8 se basa en que es el único sensor que nos brinda una banda en específico para la nubosidad, la cual será de gran ayuda en el procesamiento de las imágenes, además de su buena resolución espacial, espectral y radiométrica. Las ventajas del sensor 8 de Landsat con respecto a sus predecesores son importantes, y por esta razón se decidió usarlo para realizar el análisis de delimitación.

Algunas de las ventajas del sensor 8 se presentan a continuación:

La resolución radiométrica del sensor 7 nos otorgaba 8 bits de información, para el sensor 8 aumento a 12 bits, lo cual indica un rango dinámico mayor y pasar de $2^8 = 256$ niveles digitales a $2^{12} = 4096$ esto no quiere decir que el sensor 8 sea más adecuado que el sensor 7, significa que el valor físico asignado a la variable digital será más preciso, por lo cual el error al momento de identificar una zona humedad de una seca será menor.

La resolución espacial de los dos sensores es la misma, 30 metros para las bandas ópticas, 100 metros para las bandas térmicas.

La resolución espectral se identifica mejor con la siguiente imagen:

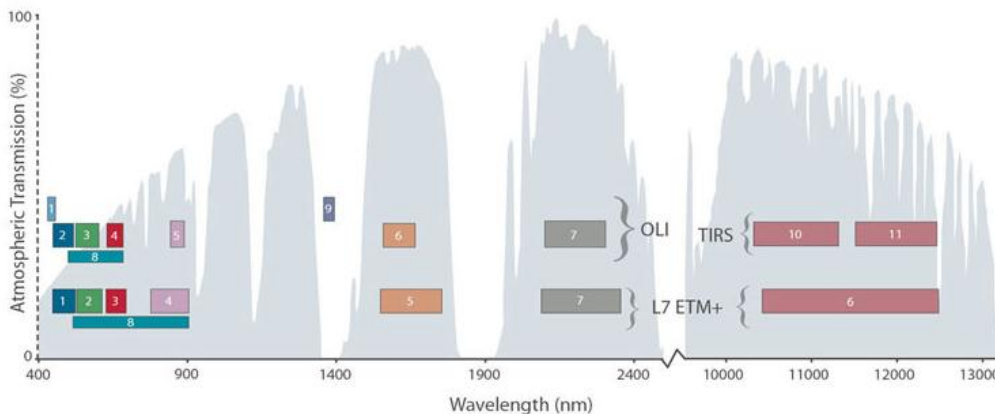


Figura 8 Parte superior: Bandas sensor Landsat 8- Parte inferior: Sensor Landsat 7. (PANCROMA Satellite Image Processing, 2013)

Es notable apreciar el cambio en las bandas, en especial na banda 9 del sensor 8, además del cambio en los espectros visibles (bandas 1, 2, 3, 4 y 8) y en las bandas térmicas.

Para el desarrollo de este documento únicamente se tendrán en cuenta las bandas de la 1 hasta la 8 además de la BQA (Quality Assesment Band), de las 11 que posee este sensor, es decir fueron descartadas las bandas térmicas 10 y 11 por no ser necesarias para lograr nuestro objetivo y la banda 9 la cual recolecta la información óptica de la nubosidad.

En la mayoría de los casos estas imágenes vienen con errores, valores nulos los cuales deberán ser descartados o corregidos con los módulos `r.null` y `r.fillnulls` del SIG GRASS, esto para las 9 bandas además de cambiar su color a gris ecualizado "grey.eq" ideal para observar con mayor facilidad detalles de las imágenes como ciudades, tipos de vegetación y en especial los cuerpos de agua, los cuales son el principal objetivo de este análisis.

Teniendo en cuenta que las imágenes se encuentran en la proyección UTM 18, es necesario cambiar esta a unidades y origen coordenado de la proyección MSZB, mediante el módulo `r.proj`.

Posterior a esto es necesario hacer el análisis digital sobre una zona de trabajo delimitada, según la distribución espacial del cuerpo de agua, una vez delimitado este espacio de trabajo el resto de la imagen será descartada para los posteriores procesos, esto evita los cálculos innecesarios y la economía de recursos computacionales, que para este punto ya son altos.

Cada imagen o paquete de bandas que se descargan, poseen metadatos específicos, estos son apreciables desde la página de la siguiente manera, esto

nos otorga información desde la fecha exacta en que fue captada la imagen hasta el datum y los bordes geográficos de esta, un ejemplo de esta información se puede ver en la siguiente imagen:

Data Set Attribute	Attribute Value
Landsat Scene Identifier	LC80090542014380LGN00
WRS Path	009
WRS Row	054
Target WRS Path	009
Target WRS Row	054
Full or Partial Scene	FULL
Nadir/Off Nadir	NADIR
Data Category	NOMINAL
Bias Parameter File Name OLI	LO8BPF20141228150317_20141228154554.02
Bias Parameter File Name TIRS	LT8BPF20141222180001_20150108000000.02
Calibration Parameter File	L8CPF20141219_20141231.10
RLUT File Name	L8RLUT20130211_20150302v10.h5
Roll Angle	- .001
Station Identifier	LGN
Day/Night	DAY
Data Type Level 1	L1T
Sensor Identifier	OLI_TIRS
Date Acquired	2014/12/26
Start Time	2014:380:15:17:33.2580440
Stop Time	2014:380:15:18:05.0280410
Image Quality	9
Scene Cloud Cover	1.93
Sun Elevation	49.2925077
Sun Azimuth	142.26225851
Geometric RMSE Model X	5.832
Geometric RMSE Model Y	4.517
Browse Exists	Y
Processing Software Version	LPGS_2.5.0
Center Latitude	8°40'37.88"N
Center Longitude	75°04'43.28"W

Figura 9 Metadatos Ciénaga de la Virgen 2015, (USGS,2015).

En primera instancia si la región escogida tiene presencia de nubosidad, es necesario eliminar esta de las 8 bandas, como guía sea usen los valores de nubosidad presentes en la banda nueve, estos valores digitales son 53248, 56320, 57344, 61440, 59424, los cuales se extraen y se generan 8 nuevos mapas raster a los cuales se les hace una interpolación bilineal (r.fillnulls) con el fin de llenar los espacios creados al momento de extraer la nubosidad, con esto se posee la información ideal para realizar con correcto análisis sobre la zona de estudio.

Para convertir los valores de brillo de las imágenes satelitales a variables físicas en mapas raster se utilizan los valores de ganancia (RADIANCE_MULT_BAND) y desvío (RADIANCE_ADD_BAND) descargados en los metadatos de las imágenes para ser reemplazados en la siguiente ecuación:

$$Radiancia_{\lambda} = Ganancia_{\lambda} * Nivel Digital_{\lambda} + Desvío_{\lambda}$$

Ecuación 1 Radiancia en el canal λ , (USGS, 2015)

Donde λ : es la longitud de onda para cada canal.

Para reducir la variabilidad de entre bandas será calculada la reflectancia utilizando los valores de ganancia (REFLECTANCE_MULT_BAND), desvío (REFLECTANCE_ADD_BAND) y elevación solar (SUN_ELEVATION) descargados en los metadatos de las imágenes para ser reemplazados en la siguiente ecuación:

$$Reflectancia_{\lambda} = \frac{Ganancia_{\lambda} * Nivel Digital_{\lambda} + Desvío_{\lambda}}{90 - \cos(elevación solar)}$$

Ecuación 2 Reflectancia en el canal λ , (USGS, 2015)

Donde λ : es la longitud de onda para cada canal.

Una vez procesadas las imágenes para obtener la reflectancia, con los valores de las bandas 4 y 5 se calculan el mapa de índices de vegetación (NDVI) (Ecuación 3) nuevamente utilizando la herramienta r.mapcalc, este índice nos ayuda a verificar las condiciones de la imagen.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

Ecuación 3 NDVI

La obtención del Mapa de índice de vegetación (NDVI) utiliza la diferencia entre la banda del infrarrojo cercano u el rojo para inferir información sobre qué tipo de cobertura podría tener el suelo. Los valores en este mapa oscilan entre 1 y -1, por lo tanto cuando un pixel toma un valor muy cercano a 1 o uno la vegetación es abundante y saludable, cuando los valores son cercanos a 0 o 0 se trata de suelos desnudos y para los valores negativos hasta -1 la cobertura del suelo es agua. Un ejemplo de estos mapas será expuesto a continuación:

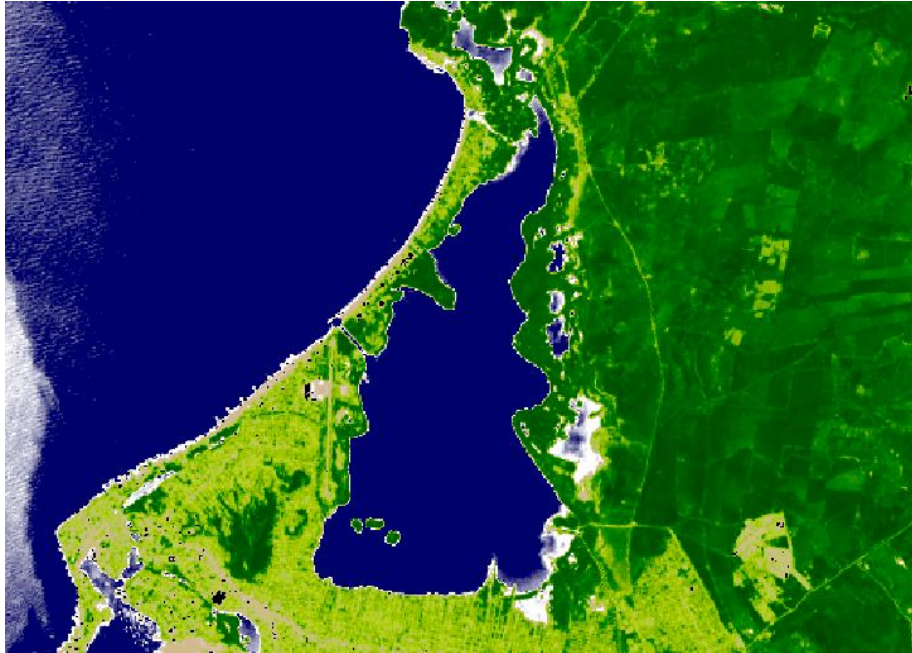


Figura 10 Mapa NDVI – Ciénaga de la Virgen

Existen una gran variedad índices que pueden ser aplicados para este fin, en este caso el NDVI tiene muchos pros y contras, este índice es muy eficaz para la detección cuerpos de agua, el ejemplo de clasificación efectuado en este manual será usado este índice, muchas literaturas hablan de más índices que también captan la respuesta de la cobertura del suelo, tales como el SAVI (Soil Adjusted Vegetation Indices), TSAVI (Transformed soil-adjusted vegetation index), GEMI (Global Environment Monitoring Index) y el OSAVI (Optimised Soil-Adjusted Vegetation Index). Que son vistas optimizadas de la cobertura superficial, y se enfocan en tipos de características como la humedad en las plantas, el tipo de cultivo o cobertura.

Para eliminar las redundancias en las imágenes utilizamos el módulo i.pca y de esta manera generamos nuevos mapas. Las bandas de una imagen multiespectral están correlacionadas, dado que existe similitud en la respuesta espectral de los objetos observados, por lo cual existe redundancia en los datos. Para esto el análisis de componentes principales (*Principal Component Analysis PCA*) el cual trasforma la información de bandas inicialmente correlacionada, en un nuevo conjunto de datos que no tengan correlación entre canales, al realizar esta transformación la información de la imagen se concentrara en unos pocos canales, es decir cada dato de cada banda posee un valor el cual se si compara con el mismo pixel en otra banda podría tener el mismo valor o uno desviado, por lo cual estos valores tendrán una varianza, al final se seleccionaran los datos que menos varianza tienen, es decir los más acertados, obteniendo los PCA1, PCA2 y PCA3, mapas que son los que cuentan con la mayoría de los datos espectrales de las bandas.

A continuación se realizara la clasificación supervisada, primero se deben generar áreas de entrenamiento sobre el mapa NDVI, mediante vectores para diferenciar los tipos de cuerpos de agua, vegetación y zonas urbanas. A cada uno de estos vectores se les asigna la categoría a la que pertenecen, en este caso fueron hechas 20 clases diferentes, 10 perteneciste a tipos de agua y otras 10 pertenecientes a tipos de suelo, cuando se habla de tipos de suelo se refiere a la variación en su cobertura, cuando se habla de tipos de agua se refiere a variación de manera dinámica o estática y a su profundidad.

A las dos imágenes se les asigna el mismo tipo de clasificación con el fin que sea comparables puesto que la clasificación se realizara en ambas con los mismos tipos de firmas espectrales.

Tabla de clases para la clasificación supervisada.	
Categoría	Tipo
1	Aguas más profunda estática
2	Agua profunda estática
3	Agua poco profunda estática
4	Agua superficial estática
5	Agua profunda ríos
6	Agua menos profunda ríos
7	Agua superficial ríos
8	Agua superficial ríos
9	Agua turbulenta ríos
10	Agua rápida ríos
11	Ciudad
12	Zona seca inundable
13	Suelo tipo 1
14	Suelo tipo 2
15	Suelo tipo 3
16	Suelo tipo 4
17	Suelo tipo 5
18	Suelo tipo 6
19	Suelo desnudo
20	Suelo vegetación densa

Figura 11 Tabla de áreas de entrenamiento para la clasificación supervisada.

Con los mapas vectoriales y el módulo v.to.ras se genera un mapa ráster con las zonas de entrenamiento el cual juntos el grupo y el subgrupo creados del PCA y el módulo i.gensig genera las firmas espectrales para las zonas de entrenamiento.

Una vez definidas las firmas espectrales se procede a ejecutar el modulo i.maxlik el cual asignara todos los pixeles de la imagen de satélite a las calces derivadas del agrupamiento previo, y del definido en el archivo de firmas espectrales, es decir se genera el algoritmo de agrupamiento, las matrices de covarianza y la asignación de estos a cada pixel, el mapa resultado de este proceso ya cuenta con la definición clara en cuanto que área está inundada o seca, un ejemplo de este mapa de clasificación se muestra a continuación:

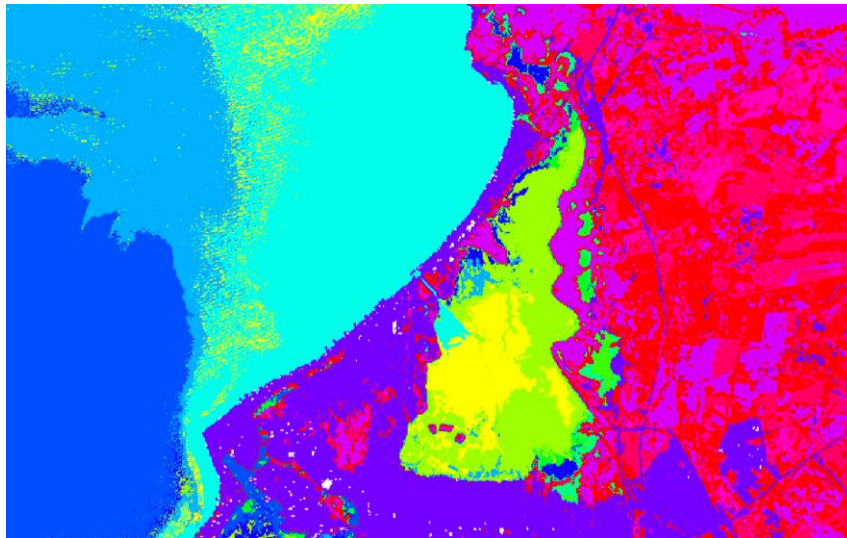


Figura 12 Mapa clasificación supervisada para Ciénaga de la Virgen.

Para identificar las áreas “mojadas” de las áreas “secas” en forma más simple la clasificación se utiliza el módulo r.reclass en el que se asigna el valor de 1 a las áreas mojadas y el valor de 2 a las áreas secas, dando así una visión más marcada de la zona de influencia del cuerpo de agua y como este análisis se hace en dos ventanas de tiempo diferentes para cada zonas, es posible observar el cambio de este con respecto al tiempo, y medible en cuanto al cambio espacial, La evolución de zonas inundadas se puede cuantificar, evaluando el cambio en los pixeles, o el cambio en su estado, es decir que este cambio de una zona inundada a zona seca o viceversa, en este caso el orden correcto sería el primeramente nombrado sin embargo existen zonas que estaban secas y cambiaron a inundadas, puede deberse esto a errores en la calificación, sin embargo su cantidad no es comparable con respecto al resto de zonas, por consiguiente es un error medible.

A continuación serán expuestos los resultados de estos procesos, en el primer mapa expuesto la clasificación marcada entre zonas mojadas y secas, el segundo mapa expuesto se verá la evolución de la mancha de inundación en la ventana de tiempo que se definió para el análisis y los pixeles que cambiaron su estado.

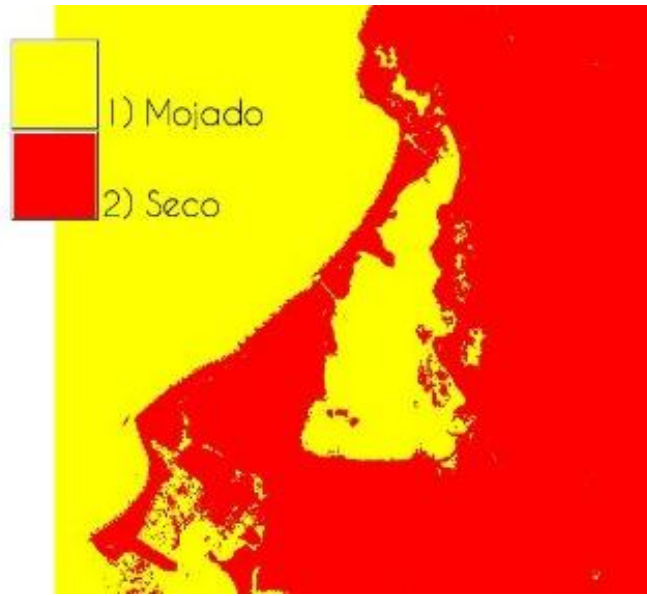


Figura 13 Mapa de clasificación Ciénaga de la Virgen, 1) (Amarillo) Zona inundada, 2) (Rojo) Zona Seca.

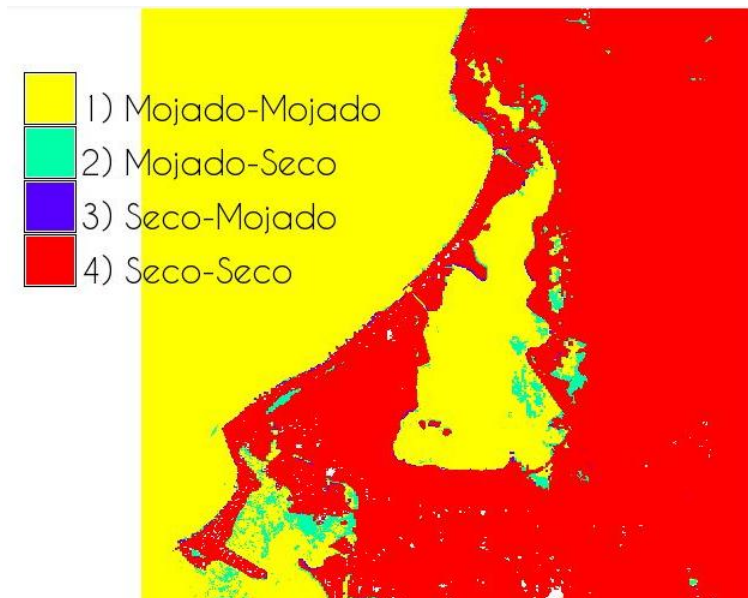


Figura 14 Mapa de cambio en mancha de inundación Ciénaga de la Virgen. 1) (Amarillo) Zona inundada en ambos periodos, 2) (Azul cian) Zona seca que paso a inundada, 3) (Azul) Zona inundada que paso a seca, 4) (Rojo) Zona seca en ambos periodos.

5.2.2 Propuesta de delimitación de la ventana de la Ciénaga de la Virgen, con base en el análisis de información Satelital a escala 1:25.000.

Propuesta:

Para llevar acaba la creación de estas ventanas se tuvieron en cuenta tres factores los cuales son considerados de gran importancia al momento de delimitar los cuerpos de agua. Se realizaron tres tipos de mapas para determinar el límite del espejo de agua del humedal, el primero corresponde al Índice de vegetación, el segundo es un análisis multitemporal (Matrices de confusión, (ver “Development of a sub-pixel analysis method applied to dynamic monitoring of floods, International Journal of Remote Sensing, 33:7, 2277-2295, Giraldo O. Juan Diego, Garcia G. Sandra Gabriela, 2011.”).) y la vista real de las imágenes. Todos estos con un shape que muestra los límites del cuerpo en la época de mayor nivel.

Insumos:

Para esta propuesta fueron usadas como insumo imágenes satelitales Landsat 8, las cuales se vienen tomando desde el año 2013, se escogerían las fechas según los datos otorgados por la información hidrológica aportada por el IDEAM, en donde se calcularon los picos hidrológicos basados en las series de caudales y niveles de las estaciones hidroclimatológicas disponibles en el área de estudio.

5.2.2.1 Mapas entregados:

Mapa NDVI “Normalized Difference Vegetation Index”:

El origen y objetivo de este mapa de índices de vegetación es identificar la actividad fotosintética de las plantas, esta varía según su densidad espacial y estado de salud. Sin embargo este mapa también es capaz de diferenciar entre el suelo desnudo o con alguna cobertura no natural, además de identificar la respuesta espectral de los cuerpos de agua y diferenciar cuando éste es poco profundo a muy profundo. Por lo tanto existe una diferenciación entre el cuerpo de agua profundo, las llanuras de inundación, urbanizaciones y la vegetación en sus diferentes estados de salud y densidades. Para el caso de la Ciénaga de la Virgen, no hubo mayor inconveniente en captar los espejos de agua de la cienaga, pudiendo ver en el caso de la temporada húmeda, hasta donde llegan los niveles, y de igual forma para la época seca. Los ingresos de agua marina, la ubicación de la ciudad de Cartagena y las diferentes coberturas en entorno a la Ciénaga también fueron identificados.



Figura 15 Mapa NDVI Ciénaga de la Virgen, Cartagena - Colombia.

Así mismo se hizo una comparación entre dos imágenes de la ciénaga de la Virgen, una de una época muy seca y otra de una temporada húmeda. Nótese como la vegetación adquiere un color diferente en la época seca. Esto se debe a que posiblemente la zona de verde oscuro corresponde a vegetación de manglar, o plantas que hacen parte del ecosistema de la ciénaga.

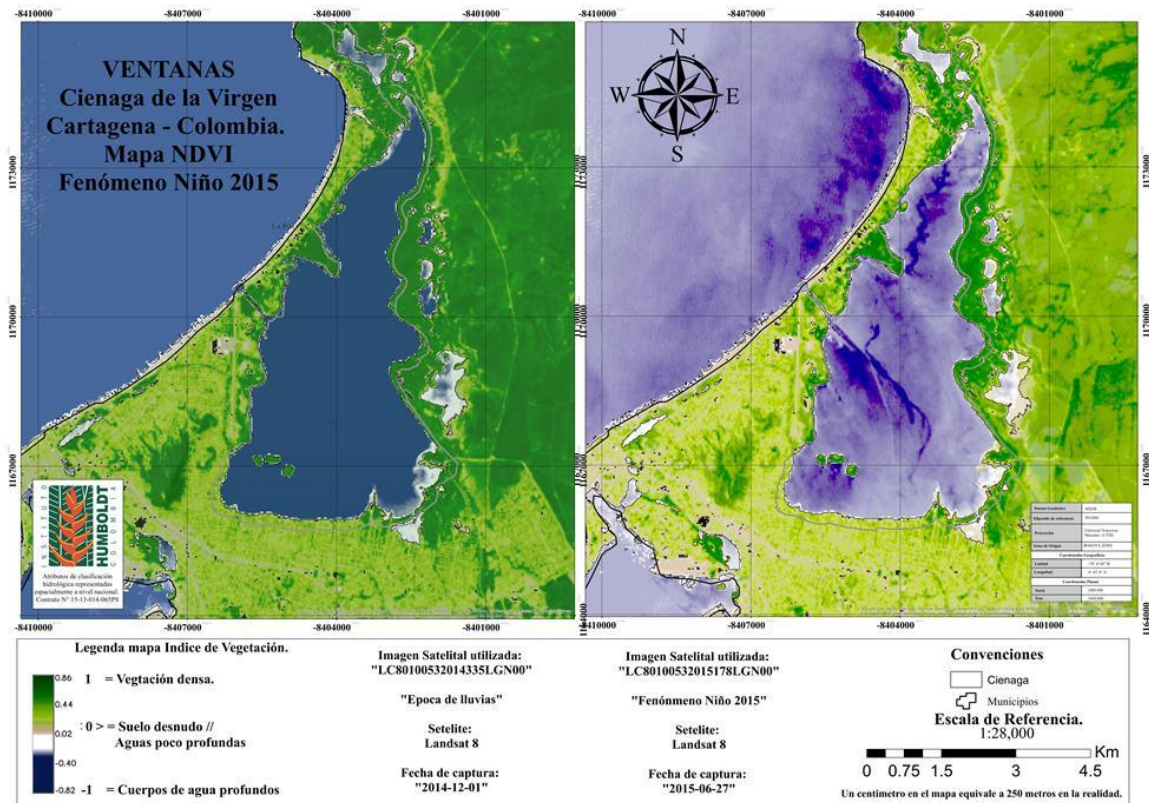


Figura 16 Mapa NDVI Ciénaga de la Virgen, Comparación Época Húmeda-Seca, Cartagena - Colombia.

Mapa Matrices de confusión:

Este mapa, explicado también en la parte final de la metodología, tiene como objetivo exponer la multitemporalidad del análisis, la cual se hace comparando el cuerpo del agua en su época seca y húmeda del año. Estos extremos se encontraron analizando la información registrada por la estaciones de caudal del IDEAM. Para lograr este mapa es necesario tener dos imágenes puntas, ojala consecutivas de estas épocas del año en sus momentos pico.

Para escoger las imágenes que serían parte del análisis multitemporal se procedió a revisar toda la información hidrológica de la estación hidroclimatológica más cercana. Para el caso de la ciénaga de la Virgen se graficaron los datos de nivel de la estación 29037610 ubicada en cercanías a la desembocadura del canal del dique. Adicionalmente se graficaron los eventos de lluvia registrados por la estación pluviométrica 14015030, y los eventos de fenómeno del niño y la niña registrados dentro de la misma ventana de tiempo.

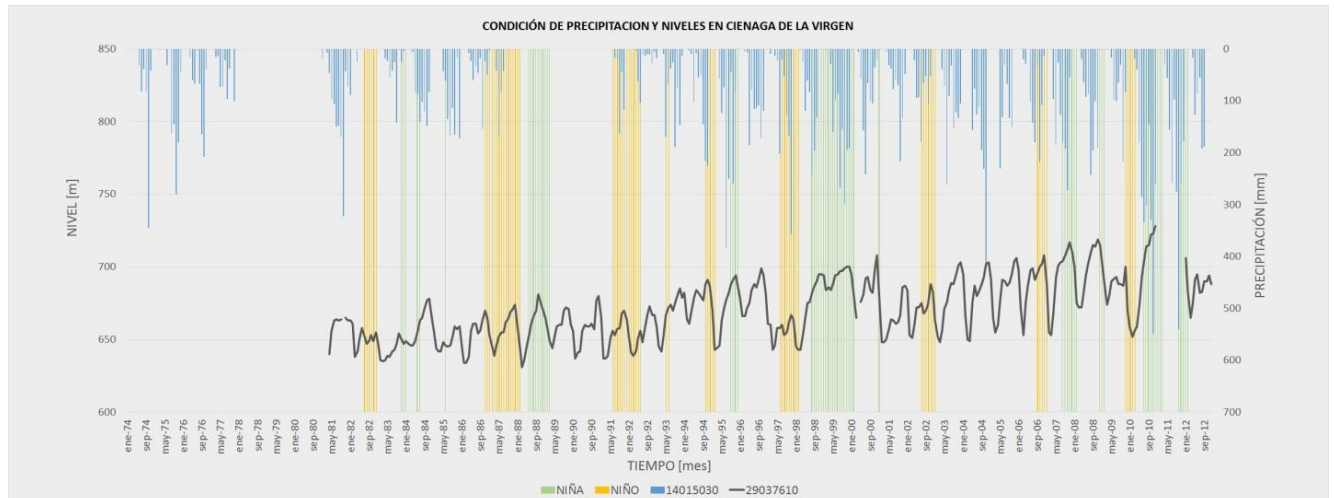


Figura 17 Caudal, Precipitación Vs Tiempo, Ciénaga de La Virgen.

Dada la disponibilidad la y la poca nubosidad en las imágenes satelitales, las imágenes finalmente escogidas fueron las siguientes:

Imagen Húmeda del satélite Landsat 8: lc80100532015242

Imagen Seca del satélite Landsat 5: lt50100532001027

La imagen muestra la comparación pixel a pixel de la imagen seca y la imagen húmeda. En Rojo se ven los pixeles que estaban secos en la imagen seca y permanecieron secos en la imagen húmeda. En cian los pixeles que estaban húmedos en la imagen seca y pasaron a estar secos en la imagen húmeda. El azul oscuro los pixeles que estaban secos en la imagen seca y pasaron a estar húmedos en la imagen húmeda. Finalmente el amarillo son los pixeles que permanecieron húmedos en ambas imágenes.

En este caso la variación de la lámina de agua se vio en los cuerpos de agua colindantes con la ciénaga, o que hacen parte de su sistema, pero no están en contacto directo con la variación del nivel de las mareas (Cuerpos de agua al oriente de la Ciénaga de la Virgen). El nivel del cuerpo principal de la ciénaga se encuentra en el mismo punto debido a su relación directa con aguas oceánicas, las cuales mantienen el nivel acorde a la fluctuación natural de la altura del nivel del mar atlántico. Estos niveles no se ven afectados por los cambios en la precipitación ocasionados por temporadas de sequias o temporadas húmedas.

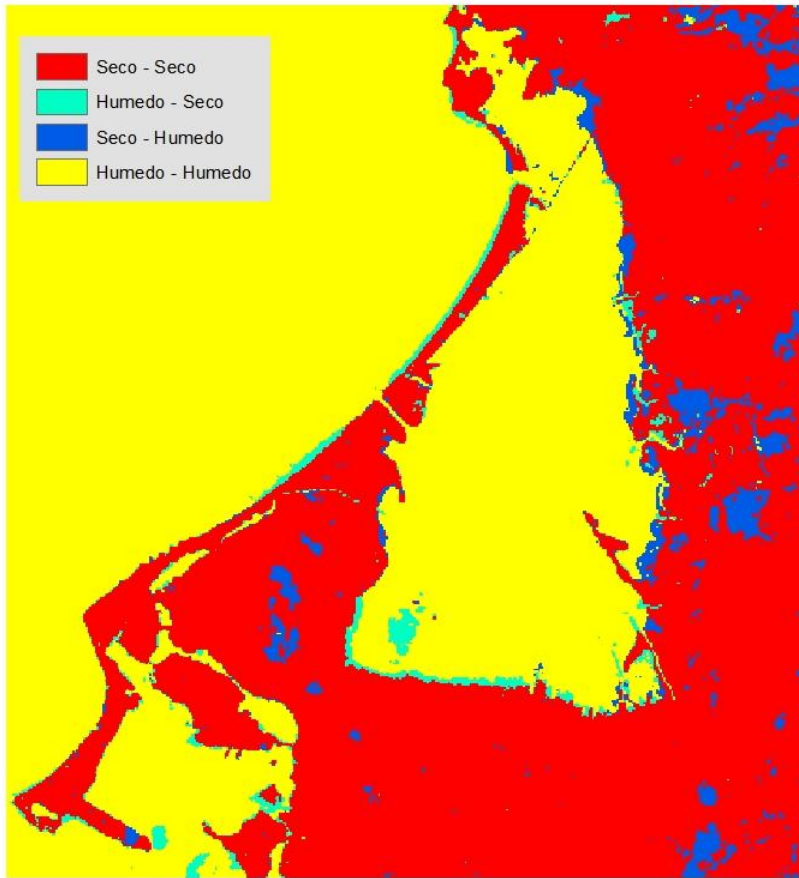


Figura 18 Mapa de Matrices de Confusión, Ciénaga de la Virgen, Cartagena - Colombia.

Mapa imagen colores reales:

La creación de ese mapa se logra haciendo una combinación RGB de las bandas visibles, las cuales ya están debidamente corregidas, eliminando valores de nubosidad y rellenado vacíos. Se hace bastante útil contar con esta imagen puesto que gracias a la ayuda del delineamiento obtenido de las épocas húmedas es posible ver el área total de inundación de la ciénaga. Se hace posible apreciar coberturas, profundidades y cuerpos de agua pertenecientes al sistema de la Ciénaga de la Virgen.

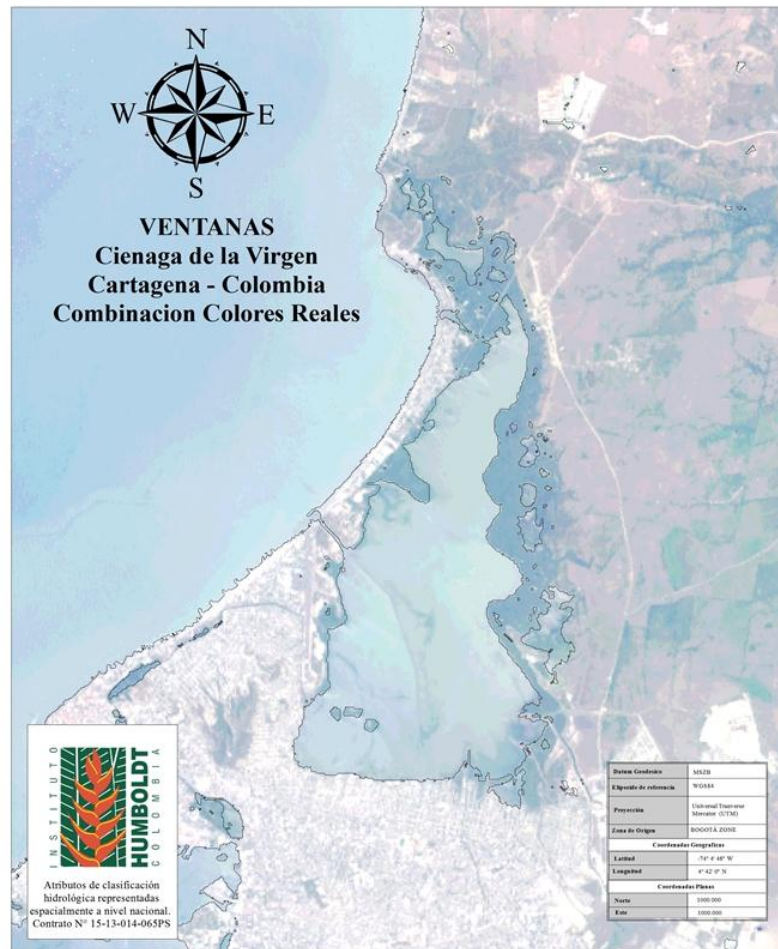


Figura 19 Mapa colores reales, Ciénaga de la Virgen, Cartagena - Colombia.

Es importante aclarar que los resultados del procedimiento acá expuesto, deberán ser comparados con los resultados de las demás metodologías de delimitación, la de vegetación, geomorfológica, y suelos. El limite final del humedal deberá ser el resultado del análisis conjunto, comparando los resultados acá expuestos con los de los otros consultores.

6 Anexos

- Plano 1. Mapa Combinación Colores Reales
- Plano 2. Mapa NDVI
- Plano 3. Mapa Matrices de Confusión

7 Bibliografía

- Oscar J. Mesa, Germán Poveda J, Luis F. Carvajal S. Introducción al clima de Colombia. Universidad Nacional de Medellín, Sede Medellín, Facultad de Minas, 1997
- Junk W.J, Piedade M.T, Lourival R, Wittmann F. Brazilian wetlands: Their definition, dealination , and clasification for research, susteinable management, and protection. 2013.
- Junk W.J, Wantzen K.M, Flood Pulsing and the Development and maintenance of Biodiversity in Floodplains. 2006.
- United States Environmental Protection Agency, EPA. Methods for Evaluating Wetland Condition, #20 Wetland Hydrology. 2008.
- Colwell R. Predictability, Constancy and Contingency of Periodic Phenomena. Ecology, Volume 55, Issue 5, 1974.
- Milhous R.T, Application of the Colwell Index to Monthly Streamflow Analysis, Colorado . 2012.
- Ricaurte L.F, Wetland Habitat Diversity in the Amazonian Piedmont of Colombia. Society of Wetlands Scientists. 2012.
- Junk W.J, The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems. Max Planck Institut für Limnologie. 1984.
- Junk W.J, The Flood Pulse Concept: New Aspects, Approaches and Applications - An Update. Max Planck Institut für Limnologie. 2004.
- Neiff J.J, El Regimen de Pulsos en Rios y Grandes Humedales de Suramerica. Centro de Ecología Aplicada del Litoral,1997.
- Ven Te Chow. Hidrología Aplicada. Mc Graw Hill, 1993.
- Tiner R. The Primary Indicators Method - A Practical Approach to Wetland Recognition and Delineation in the United States. U.S Fish and Wildlife Service, 1993.
- Tiner R. Wetland Indicators: A Guide to Wetland Identification, Delineation, Classification and Mapping.
- Heeh. K.H, Lee. T.M, Hydrology and Ecology of Freshwater Wetlands in Central Florida. USGS, 2010.
- Corps of Engineers, Wetland Delineation Manual. Environmental Laboratory. 1987.
- Frazier. P, Page. K.J, Water Body Detection and Delineation with Landsat TM Data. 2000.
- Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique - Cardique & Conservación Internacional Colombia. Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica de la Ciénaga de la Virgen. Cartagena de Indias, 2004.