

# Cambios en coberturas de áreas y usos del suelo en tres humedales en el Valle del Cauca

## Changes of the coverage of three wetland areas in Cauca Valley

*Christian Andrés Núñez Restrepo<sup>1</sup>, Edgar Enrique Madero Morales<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Ingeniero Ambiental. <sup>2</sup>Profesor asociado, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Valle del Cauca, Colombia  
Autor para correspondencia: [sudaca1986@hotmail.com](mailto:sudaca1986@hotmail.com)

Rec.: 15-03-09 Acept.: 20-09-09

### Resumen

El objetivo de este proyecto fue aplicar la tecnología de Sistemas de Información Geográfica (SIG), en especial los programas ARCGIS y ERDAS, como metodología para identificar los cambios de cobertura de área y uso del suelo en las zonas de los humedales la Bolsa, Charco de Oro y el Pital, localizados en la parte plana del municipio de Andalucía corregimiento de Campoalegre y El Salto (Valle del Cauca, Colombia). Para el estudio se utilizaron fotografías aéreas de 1950 y 1998, imágenes Landsat 2002 y cartografía base de la zona. Los procesos dentro de la metodología fueron depurados, un ejemplo es la georreferenciación de las fotografías y la creación de fotomosaicos que conllevan una imagen con mejor apariencia visual y más fácil identificación de los humedales, de manera que al hacer comparaciones, aquellos arrojen cambios de cobertura en la zona de estudio. Así, la utilización de los SIG y un correcto tratamiento de las imágenes satelitales resultan de gran ayuda no sólo en la obtención de los cambios en el uso del suelo y los humedales, sino también en diferentes áreas donde la utilización de esta tecnología es poco común.

**Palabras clave:** Sistema de Información Geográfica, imágenes satelitales, georreferenciación, humedales, Valle del Cauca, Colombia.

### Abstract

The objective of this project was to apply geographic information system (GIS) technology, mainly ARCGIS and ERDAS software, as a methodology to identify changes in coverage and land usage of the terrain comprising the wetlands La Bolsa, Charco de Oro, and El Pital, located in the flat zone of the Andalucía municipality, in the villages of Campo Alegre and el Salto (Valle del Cauca Department, Colombia). The study employed aerial photos from 1950 and 1998, Landsat images from 2002, and base cartography of the zone. The processes within the methodology were purged. For example, the geo-referencing of photographs, and the creation of photo-mosaics to convey an image with a better visual appearance, and easier identification of the wetlands, in such a way that when making comparisons, they reveal changes in coverage in the study zone. The usage of GIS and correct processing of satellite images will be very helpful not only to evidence changes in soil usage in wetlands, but also in different areas where use of these technologies is very unusual.

**Key words:** Geographic Information System, wetlands, cartographic, Cauca valley, Colombia.

---

<sup>1</sup> Ing. Ambiental.

<sup>2</sup> Profesor Asociado, M.Sc. Ph.D. Suelos y Aguas.

## Introducción

El valle geográfico del río Cauca es la zona con uno de los mayores índices de desarrollo agropecuario en Colombia debido a la alta fertilidad de los suelos, estratégica ubicación geográfica, variedades de clima y el aprovechamiento del sistema hídrico con sus derivados las ‘madreviejas’, –cuerpos de agua formados por estrangulamientos debidos a la sinuosidad del río Cauca– utilizados para riego en la ampliación de la frontera agrícola, con los consecuentes cambios en el paisaje natural y el desplazamiento de la vegetación autóctona (Ministerio del Medio Ambiente-Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. 1999.).

Dentro el ciclo hidrológico, los humedales juegan un rol importante en el mantenimiento de la calidad ambiental y la regulación de las cuencas hidrográficas, los estuarios y las aguas costeras desarrollando, entre otras, funciones de mitigación de impactos por inundaciones y absorción de contaminantes, proveyendo hábitats para animales y plantas (Ministerio del Medio Ambiente de Colombia. 2001).

En 1995 en el Valle del Cauca existían 15,286 ha en humedales lénticos naturales de agua dulce a lo largo del río Cauca. De acuerdo con datos del Ministerio del Medio Ambiente en la actualidad existen 52 humedales en 2650 ha. (CVC.Madreviejas,Cali+1 videocassetes(VHS))

En el municipio de Andalucía (Valle del Cauca) se consideran importantes los humedales la Bolsa, Charco de Oro y el Pital, actualmente en proceso de degradación. El objetivo del presente estudio fue hacer un análisis múltitemporal por comparación de aerofotografías e imagen Landsat en diferentes épocas (1954, 1998, 2002) con la aplicación del Sistema de Información Geográfica (SIG) para determinar los cambios en la cobertura de área de estos humedales. Se espera que la información sea útil para los trabajos del grupo de biodiversidad de la Dirección de Gestión Ambiental de la CVC encargado del manejo y control de los humedales en el Valle del Cauca y en especial los del municipio de Andalucía(Plan de Manejo Integral de las

Madresviejas La Trozada, Bocas de Tuluá, Madrigal, La Herradura y Cementerio.

## Materiales y métodos

Los humedales la Bolsa, Charco de Oro y el Pital se encuentran localizados en el sector occidental del municipio de Andalucía, departamento del Valle del Cauca, en la margen derecha del río Cauca entre el corregimiento Campoalegre y la vereda Madrevieja (Esquema de Ordenamiento Ambiental del Municipio de Andalucía, 2000) y es aprovechado por la Asociación Granos y Granos S.A., proveedores de caña de azúcar del Ingenio Riopaila SA.

Para el estudio se consideraron las unidades diferenciadas por su naturaleza y apariencia exterior, por ej., cobertura vegetal y de área de los humedales. Para determinar las clases de cobertura se tuvieron en cuenta los accidentes naturales como bosques, pasturas, pantanos, cultivos y construcciones, entre otros; de esta manera se establecieron las condiciones propias de cada tipo de cobertura, dentro de la cual fueron consideradas las clases: Bosque natural, pradera natural intervenida, conflictos de uso de suelo (agricultura de bajos y altos insumos, cuerpos de agua y humedales propiamente) (Andrade y Baquero, 2007).

Los valores de áreas para los periodos 1954 y 1998 se tomaron directamente de fotografías aéreas utilizando los Programas ERDAS (Georreferenciación y Análisis Digital de Imágenes) y ARC-GIS (Digitalización de Areas de Cobertura). La información para 2002 fue tomada de una imagen Landsat, que posteriormente fue ajustada para 2008 con información tomada directamente de observaciones en campo.

### Fase inicial

Esta fase comenzó con la elección del área (957 ha) de influencia de los humedales o madreviejas. Para las fotografías aéreas se seleccionaron una escala 1:30000 para 1998 y 1:20000 para 1954, las cuales fueron tomadas a una distancia focal de 152 mm, con una cámara zeiss RMK. Para las imágenes de tamaño de pixel 30 x 30 (Landsat TM) se puede trabajar desde escala 1:50000 hasta 1:100000. En esta fase también se elabora-

ron: (1) la cartografía base y catastral de la zona de estudio, que incluyó asociaciones con las fotografías aéreas y la fecha de toma de la imagen; y (2) fotografías aéreas e imagen satelital. Para los análisis se utilizaron fotografías de las décadas 1950 - 1998 y una imagen satelital de 2002, lo que representa, aproximadamente, 54 años de diferencia en los cuales se esperaría que ocurriera un cambio de uso del suelo y de la cobertura de área de los humedales.

### **Procesamiento de fotografías aéreas**

Las fotografías fueron escaneadas con un equipo Epson-Stylus-CX 5600 y se procedió a visualizarlas con el programa Photoshop modificado a una resolución alta de 1600 pixels/pulgada y en un formato gráfico que utiliza ERDAS y ARC-GIS para su posterior procesamiento y archivo en formato TIFF.

### **Proceso de georreferenciación de fotografías aéreas**

Inicialmente las fotografías fueron desplegadas dentro del software ERDAS 9.21, procediendo a la ubicación, identificación de puntos visibles en coordenadas planas (este y norte) en los tres formatos: aerofotografías, puntos tomados por GPS ('Thales') y cartografía de 1999 suministrada por la CVC. La selección de puntos se determinó de acuerdo con parámetros mínimos como el número de puntos según el polinomio de transformación utilizado; en este caso un polinomio de segundo grado el cual exigía como mínimo la ubicación de seis u ocho puntos para alcanzar un error medio cuadrático  $< 1$ , como criterio de aceptación.

La selección de puntos fue dos puntos en las esquinas superior e inferior izquierda y derecha, un número igual en las zonas intermedias y en el centro de la fotografía en sentido sur-norte, todos con las mismas características de visibilidad y fácil ubicación; en algunos casos se presentó traslape en las aerofotografías.

Otros parámetros en el proceso de georreferenciación fueron de tipo DATUM, el cual para este caso fue 'Bogotá oeste'; el tipo de proyección transverse mercator y el tipo de esferoide internacional 1924 correspondiente

a la zona de estudio; el tipo de coordenadas planas fue este-norte.

### **Construcción del mosaico fotográfico**

El programa ERDAS 9.21 aplicó automáticamente los diferentes pasos, minimizando el efecto de bordes y costuras entre fotos. Alguno de los efectos automáticos más importantes aplicados en este proceso son 'Seam feathering' cuya función principal es mezclar o permitir la grabación de colores de los valores de los datos, e 'Image display priority' que controla la prioridad de ubicación de las fotografías.

### **Análisis visual del mosaico**

Este análisis se realizó teniendo en cuenta los parámetros necesarios y conceptos de fotointerpretación de suelos para interpretar una fotografía en escala de grises, entre ellos: color, tono, tamaño, textura, patrón y forma. Según estos parámetros se analizaron las variables que intervenían en la interpretación: (1) vegetación, principalmente cultivos de caña de azúcar, bosques en general (guaduales y árboles de típicos de humedales y otras especies), pastos y otros cultivos menores; (2) suelos, descubiertos preparados para cultivo, ocupados por elementos antrópicos de tipo habitable como el casco urbano en pequeños asentamientos, y suelos destinados a vías; (3) cuerpos de agua, se incluyó el río Cauca, y los humedales de interés ambiental donde el espejo lagunar es invadido por varias especies vegetales acuáticas como enea, buchón de agua y lechugilla (Andrade y Baquero, 2007).

### **Digitalización de áreas en fotografías aéreas e imagen Landsat**

Con el uso de GPS (Thales mobile mapper) se delimitaron los bordes de los humedales para conocer el área en 2008 y se procedió a introducir los datos en ARC-GIS. Una vez delimitados los bordes de los humedales para las fotografías de 1954,1998 y la imagen Landsat de 2002, se caracterizaron y digitalizaron las áreas de influencia a estos humedales en los aspectos conflictivos de uso del suelo, bosques naturales representativos y cuerpos de agua vulnerables a la desecación por su uso para riego.

## Resultados y discusión

### Cobertura y usos del suelo

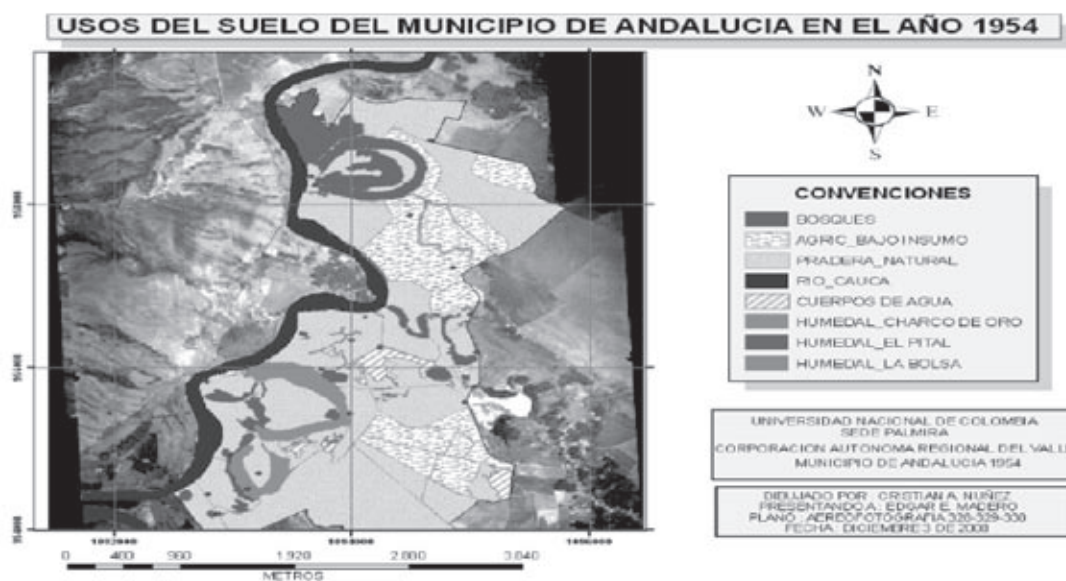
En 1954 se observaban seis formas de uso y cobertura vegetal (Cuadro 1) con predominio de pastura naturalizada que se encontraba en 588.25 ha y cubría 61% del área total de la zona piloto de estudio (Foto 1). En menor proporción se encontraba el área en agricultura de bajos insumos en 190.60 ha que cubría 19.9% del área, seguida del área en humedales o madre viejas el Pital, la Bolsa y Charco de Oro.

Las restantes clases de uso y cobertura vegetal estaban constituidas por bosques naturales de especies arbóreas propias de los humedales y cuerpos de agua remanentes. Estos últimos se formaron por los desbordamientos del río Cauca y fueron favorecidos por el nivel freático superficial, que crearon volúmenes de agua inmersos o atrapados y distribuidos en la pastura naturalizada.

En 1998 igualmente se identificaron seis clases de uso y cobertura del suelo (Cuadro 1

**Cuadro 1.** Cambios por épocas en el uso del suelo y tipo de cobertura en la zona de influencia de los humedales. Municipio de Andalucía, Valle del Cauca (Colombia).

Tipo de uso y cobertura	1954 (ha)	1998 (ha)	Pérdidas (ha)	1998 (ha)	2002 (ha)	Pérdidas (ha)	1954-98 (ha/año)	1998-02 (ha/año)
Cuerpos de agua	26.09	0.71	-25.38	0.70	0.52	-0.18	0.045	0.57
Pradera natural	588.25	10.75	-577.50	10.75	0	-10.75	2.67	13.12
Agricultura de altos insumos	0	621.95	621.95	621.95	850.45	228.50	57.12	14.13
Bosque natural	84.81	35.15	-49.65	35.15	30.15	-5.00	1.25	1.12
Agricultura de bajos insumos (maíz)	190.59	17.17	-173.42	17.17	37.31	20.14	5.03	3.90
Humedales	69.51	55.65	13.86	55.65	49.16	6.50	1.6	0.31



**Foto 1.** Aerofotografía digitalizada en el área de influencia de los humedales. 1994.

y Foto 2) con predominio de la agricultura de altos insumos que comprendía 721.68 ha, es decir, 85.5% del área total de estudio, lo que significó un cambio drástico en comparación con los mismos parámetros observados en 1954. Los humedales en estudio cubrían un área de 57.5 ha, seguido de bosque natural (35.15 ha). En ese año era posible observar evidencias de agricultura de bajos insumos (cultivo de maíz en 17.17 ha), rodeada por el monocultivo de la caña en la isla que se encuentra en la parte interna del humedal el Pital. También se observaba gramíneas in-

cluidas en la clase de cobertura denominada pastura naturalizada (10.75 ha). Los cuerpos de agua ocupaban el área más reducida en la zona piloto con un reservorio (0.70 ha) destinado al riego del monocultivo de caña de azúcar (Berlanga-Robles y Ruiz-Luna).

En 2002 utilizando imagen satelital Landsat se observó el predominio nuevamente de la agricultura de altos insumos (850.45 ha) en 87.34% del área total de la zona piloto de estudio, seguido del área en humedales (57.5 ha) (Cuadro 1 y Foto 3). El resto de la zona se encontraba cubierta por cultivos



Foto 2. Aerofotografía digitalizada en el área de influencia de los humedales. .1998.

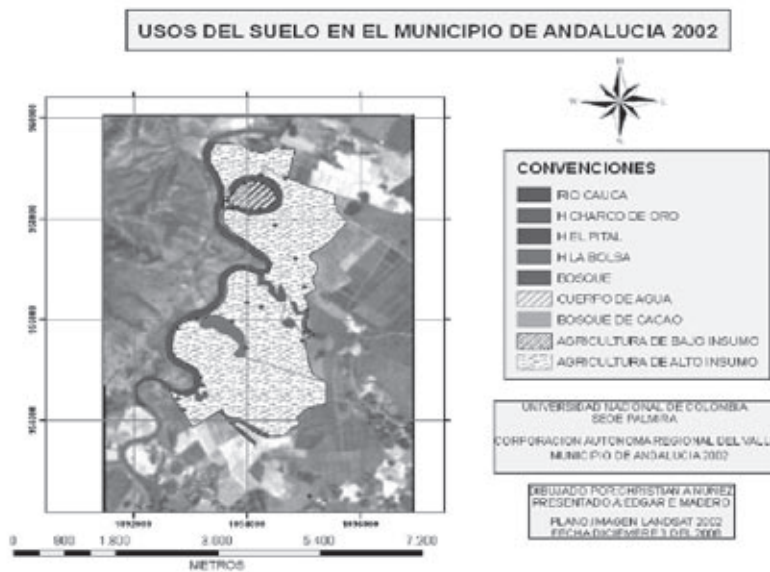


Foto 3. Imagen Landsat digitalizada del área de influencia de los humedales. 2002.

de bajos insumos (37.31ha), bosque natural (30.15 ha), bosque de guadua (3.34 ha), cultivo de cacao (0.67). El cuerpo de agua más representativo (0.52 ha) se encontraba en lotes de la hacienda Madre Vieja. Para este año la pradera natural había desaparecido de la zona piloto (Pardo, M. T.; Carreño, M. F.; Esteve, M. Á. 2001).

### Cambios generales en cobertura de área y usos

**Humedal Charco de Oro.** En 1954 este humedal estaba conectado directamente con el río Cauca; además de estar físicamente unido al humedal la Bolsa mostrando una forma de herradura y una cobertura de área de gran extensión. En el periodo 1954 - 98 se observaba una reducción considerable del área que ocupaba el humedal, perdiendo 12.08 ha para una tasa anual de pérdida de área de 0.27 ha. En 1991 la CVC realizó un levantamiento topográfico en el cual se lograron identificar las áreas de los humedales. La madre Vieja Charco de Oro aparecía con 11.8 ha, lo que permite deducir que entre 1991 y 1998 el humedal perdió 8.79 ha para una tasa de pérdida anual de 1.2 ha. En 2002 la imagen Landsat mostró un área de 2.8 ha y en 2008, por GPS, el área era de 2.5 ha (Cuadro 2). De seguir esta tendencia próximamente el humedal desaparecerá (Ramsar, 1992).

**Cuadro 2.** Cambios entre 1954 y 2002 en área del humedal Charco de Oro, municipio de Andalucía, Valle del Cauca.

Año	Area (ha)
1954	15.09
1998	3.00
2002	2.80
2008	2.50

El humedal ha experimentado grandes impactos especialmente ocasionados por factores antropicos en el afán de expandir la frontera agrícola. La construcción de un jarillón ocasionó alteraciones en la descarga natural el aislamiento total del río Cauca y mala circulación de las aguas, contribuyendo

de esta forma al aceleramiento del proceso de eutrofización. Aunque no presenta invasión en el espejo de agua, no se descarta que haya ocurrido la proliferación de vegetación acuática en tiempos anteriores, la cual debió ser removida por la circulación natural y el dinamismo entre el río Cauca y la madre Vieja (Flórez et al., 2004).

**Humedal la Bolsa.** Entre 1954 y 1998 este humedal perdió 2.6 ha debido a la intervención por parte del Ingenio Riopaila y a la construcción del jarillón que interceptó la comunicación directa con el río Cauca. En el periodo 1998 -2002 la reducción fue de 1.10 ha para una tasa anual de pérdida de 0.27 ha. En 2008 ocupaba un área de 24.48 ha (Cuadro 3)

**Cuadro 3.** Cambios entre 1954 y 2002 en área del humedal la Bolsa, municipio de Andalucía, Valle del Cauca.

Año	Area (ha)
1954	29.30
1998	26.70
2002	25.59
2008	24.48
2295	0

El humedal presenta una alteración notable del régimen hídrico, en las zonas aledañas a los cultivos de caña se han construido diques o jarillones que lo dividen, lo que permite por un lado la retención de agua y por otro, una pérdida significativa de área con presencia de vegetación acuática. Esto ocasiona un aumento en la sedimentación y finalmente la colmatación por sucesión vegetal natural de arbustos e incluso árboles en las zonas más secas y periféricas. El humedal tiene actualmente 2.5 ha de espejo de agua y algunos cuerpos de agua remanentes que escapan de la abultada vegetación acuática. La predominancia del 'buchón de agua' (*Eichornia crassipes*) como especie acuática invasora es notable, ocupando la mayor superficie de área del espejo de agua con respecto a otras especies como enea y lechuguilla. La fuerte relación entre el buchón y el humedal es uno de los fenómenos responsables del descenso en el nivel del humedal. Como principal fuente de material orgánico acumulado y

descompuesto en el fondo de las madre viejas y su facilidad de propagación, el buchón es una maleza difícil de erradicar, lo que incrementa la evapotranspiración e impide la penetración de la luz y el intercambio de oxígeno (Flórez et al., 2007).

**Humedal el Pital.** En 1954 este humedal, al igual que los anteriores, tenía conexión directa con el río Cauca. En la actualidad es alimentado por el caudal proveniente de la acequia el Cedrito y por corriente subterránea del río Cauca. Al contrario de lo ocurrido en los humedales el Pital y Charco de Oro, ha incrementado su superficie, de acuerdo con la medición utilizando GPS (Cuadro 4). Se puede asegurar que este humedal ha crecido tanto en profundidad como lateralmente a expensas de las crecientes e inundaciones producidas por el río Cauca, que irrumpe en los jarillones saturando los cultivos de caña y llegando hasta el mismo humedal (Andrade, D. y Baquero, F. 2007).

**Cuadro 4.** Cambios entre 1954 y 2002 en área del humedal el Pital. municipio de Andalucía, Valle del Cauca.

Periodo	Area (ha)
1954	25.12
1998	27.40
2002	26.88
2008	37.84

En este humedal también fue alterado el ciclo dinámico de flujo de caudales con el río Cauca, lo que se ha promovido el crecimiento de vegetación acuática, especialmente enea. Esta planta acuática es uno de los principales causantes de la desecación y el descenso del nivel del agua en épocas secas y principal fuente de material orgánico que se acumula y descompone en el fondo de las madre viejas.

### Conclusiones

- La adecuación de tierras con fines agrícolas y la construcción de jarillones ha ocasionado la alteración de los niveles de

agua y el desplazamiento de los límites y fronteras de los humedales. Esta perturbación frecuente cambia la estructura, el funcionamiento y los flujos superficiales de los humedales favoreciendo nuevos procesos ecológicos, pero todavía clasificados dentro de los procesos típicos de humedales por cambios de cobertura vegetal que aumentan la carga de sedimentos o alteran la capacidad de retención de las aguas

- Los humedales la Bolsa, el Pital y Charco de Oro carecen de una franja protectora mínima de 30 m alrededor de su perímetro, lo cual infringe lo establecido en el Decreto 1449 de 1997, por otro lado la zona destinada al amortiguamiento forestal está siendo ocupada por el monocultivo de la caña de azúcar.
- Los registros y las observaciones periódicas de procesos dinámicos de la cobertura de área de los humedales y sus áreas de influencia, permiten la identificación de puntos fundamentales en la evolución de la cobertura y repercusiones de la acción del hombre por la ampliación de la frontera agrícola para cultivo de caña de azúcar.
- El empleo de los programas automatizados ARC-GIS y ERDAS permitió cuantificar los cambios en la cobertura de área de los humedales y medir e identificar las principales transformaciones durante el período analizado (1954-1998-2002-2008).
- Los programas automatizados ARC-GIS y ERDAS también permitieron realizar un análisis comparativo de sobreposición entre las fechas de referencia, de acuerdo con la discriminación de la cobertura del área de influencia de los humedales. Los cambios más significativos fueron la conversión de la pastura naturalizada en monocultivo de la caña de azúcar, el evidente aislamiento de los humedales con el río Cauca y la proliferación de la vegetación acuática en aguas detenidas o corrientes, intensa iluminación, material orgánico suspendido y un incremento en la concentración de nutrientes.

## Referencias

- Andrade, D. y Baquero, F. 2007. Programa parques en peligro. Estudio sobre la remanencia del bosque y sistemas productivos sector Cosanga. P. 4 – 18.
- Davis, T. J; Blasco, D.; y Carbonel. M. 1996. Manual de la convención de Ramsar. Una guía- a la convención sobre los humedales de importancia internacional. Convención Ramsar y Ministerio del Medio Ambiente de España, p. 12-18.
- Flórez, P. P. y Aníbal, M. E. 2004. Estudio ambiental de los humedales Charco de Oro y la Bolsa ubicados en el municipio de Andalucía departamento del Valle del Cauca .2004. p. 1-4.
- Flórez, P.; Mondragón, C.; y Baena, L. 2007. CVC (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca) Concepto técnico visita al trapiche el Trébol. Análisis físico-químico de aguas superficiales. 5 p. (manuscrito) Fundación Natura y CVC (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca). 2003. Plan de Manejo Integral de las Madresviejas La Trozada, Bocas de Tuluá, Madrigal, La Herradura y Cementerio. Santiago de Cali 2003. Contrato de Consultoría 0139CVC-Fundacion Natura. 84 p.
- Ministerio del Medio Ambiente de Colombia-Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. 1999. Humedales Interiores de Colombia: Bases técnicas para su conservación y uso sostenible. p. 1-7.
- Ministerio del Medio Ambiente de Colombia. 2001. Política nacional para humedales interiores de Colombia. Bogotá. Ministerio del Medio Ambiente. p 46.
- Pardo, M. T.; Carreño, M. F.; Esteve, M. Á. 2001. Los humedales litorales de la laguna del mar Menor (Murcia, España). Dinámica de sus hábitats asociada a los cambios en el régimen hidrológico de la cuenca. Campus de Espinardo. 30100. Departamento de Ecología e Hidrología. Facultad de Biología. Espinardo (Murcia). p. 4 – 12.
- Ramsar, 1992. Protocolo Internacional para la Protección de Humedales, pág.web: [www.ramsar.org.co](http://www.ramsar.org.co)