

**Evaluación del recurso hídrico en el humedal el Burro después de su
reconformación.**

Daniel Eduardo Duarte Hernández.

Derli Yomar Zorro Piñeros.

Trabajo de Grado.

Director: Ing. John Alexander Segura Bolívar.

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR A TÍTULO
BOGOTÀ
2016**

Contenido

RESUMEN	5
ABSTRACT	6
INTRODUCCIÓN	7
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.	8
Descripción de la zona de estudio.....	10
JUSTIFICACIÓN.....	14
OBJETIVOS.....	15
Objetivo General.	15
Objetivos Específicos.	15
ALCANCE.....	16
MARCO REFERENCIAL	17
Antecedentes.	17
Estado del Arte.....	18
Teórico.	19
¿Qué es un humedal?	19
Clasificación del humedal El Burro Según RAMSAR.....	19
Hidrología del Humedal.	20
Balance Hídrico.	20
Micro Climas en Bogotá.....	21
Software aplicable a simulación hidrológica e hidráulica	21
Marco Legal.....	22
METODOLOGÍA	23
Información Seleccionada para el Desarrollo del Proyecto.	24
Evaluación del Espejo del Agua a través del tiempo.	25
Toma de muestras en campo.....	29
Primera toma de muestras.....	30
Segunda toma de muestras.....	31
Planteamiento modelo hidrológico e hidráulico.	31
Selección de información hidrológica.	31

Periodos hidrológicos a analizar	35
Afluentes del humedal El Burro.	36
Balance hídrico.	38
Modelo matemático hidrológico	39
Modelo Computacional Hidrológico (HEC-HMS)	48
Modelo hidráulico.....	56
Modelo matemático hidráulico	56
Modelo computacional hidráulico (Hec-Ras).	58
Representación gráfica calidad del agua en Arcgis.....	66
RESULTADOS.....	68
RECOMENDACIONES	69
CONCLUSIONES	70
Conclusiones de carácter hidrológico.....	70
Conclusiones de Carácter Hidráulico.	70
Conclusiones Calidad del Agua.....	71
Bibliografía.....	73

Índice de Tablas.

Tabla 1. Estado del Humedal el Burro a lo largo del Tiempo (2011-2015).	13
Tabla 2. Información Suministrada e Investigada.	24
Tabla 3. Variación de Agua en el Tiempo.	29
Tabla 4. Valores totales mensuales de precipitación (mms).....	35
Tabla 5. Valores de precipitación mensuales. Estación Inem Kennedy. Fecha de consulta Marzo 1 2016.....	36
Tabla 6. Afluentes al humedal El Burro.....	36
Tabla 7. Media aritmética año 2010.....	39
Tabla 8. Media aritmética año 2012.....	39
Tabla 9. Aportes precipitación sobre el espejo de agua año 2010.....	39
Tabla 10. Aportes precipitación sobre el espejo de agua año 2012.....	39
Tabla 11. Área de influencia de vertimientos de agua lluvia.	41
Tabla 12. Coeficientes de escorrentía típicos.	42
Tabla 13. Aportes época de lluvia año 2010.....	42
Tabla 14. Aportes época de estiaje año 2012.....	43

Tabla 15. Valores medios mensuales de temperatura (°c).	43
Tabla 16. Valores medios mensuales de temperatura (°c)	44
Tabla 17. Temperatura promedio época de lluvia.....	45
Tabla 18. Temperatura promedio época de estiaje.....	45
Tabla 19. Tasa de evaporación en el humedal.	46
Tabla 20. Aportes por escorrentía año 2010.....	47
Tabla 21. Aportes por escorrentía año 2012.....	47
Tabla 22. Resultados balance hídrico.....	48
Tabla 23. Parámetros requeridos por el método SCS.	51
Tabla 24. Resultados aportes volumétricos en el humedal El Burro. Año 2015. ..	51
Tabla 25. Muestras 30 Octubre 2015.....	66
Tabla 26. Tabla de resultados producidos.	68

Índice de Figuras.

Figura 1. Delimitación del Humedal El Burro, entrada canal Castilla, espejo de agua 2 y vertedero de salida.....	10
Figura 2. Metodología General del Proyecto.	23
Figura 3. Espejos de Agua en el Año 2001.....	25
Figura 4. Espejo de Agua en el Año 2006.	25
Figura 5. Espejo de Agua en el Humedal Año 2009.	26
Figura 6. Espejo de Agua en el Humedal Año 2010.	26
Figura 7. Espejo de Agua en el Humedal Año 2012.	27
Figura 8. Espejo de Agua en el Humedal Año 2013.	27
Figura 9. Espejo de Agua en el Humedal Año 2014.	28
Figura 10. Espejo de Agua en el Humedal Año 2015.	28
Figura 11. Área de Espejo de Agua en el Tiempo.	29
Figura 12. Primera toma de muestras humedal El Burro.	30
Figura 13. Colector humedal El Burro.....	30
Figura 14. Cuerpo de agua humedal El Burro.	31
Figura 15. Estaciones meteorológicas de Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.....	32
Figura 16. Red Meteorológica IDEAM Aferente a humedal EL Burro.	32
Figura 17. Mapa de Micro Climas en Bogotá.....	33
Figura 18. Ficha de la estación ubicada en el Colegio Duran Dusan.....	34
Figura 19. Ficha de la estación meteorológica ubicada en el Colegio Inem Kennedy.	34
Figura 20. Afluentes al humedal El Burro.	37
Figura 21. Área de influencia en vertimientos de agua lluvia.	40

Figura 22. Mapa de radiación solar global. Promedio multianual.....	44
Figura 23. Zona verde aledaña al humedal.	47
Figura 24. Modelo de cuenca del humedal El Burro.	49
Figura 25. Longitud y pendiente medidas por Google Earth.	50
Figura 26. Precipitación y pérdidas sobre la vegetación del humedal El Burro(Hec-Hms).	52
Figura 27. Precipitación y pérdida área aferente Canal Castilla.	53
Figura 28. Precipitación y perdidas en Colector Agrupación Pio XII (Hec-HMS) ...	53
Figura 29. Precipitación y pérdidas en Colector Avenida 80G.	54
Figura 30. Precipitación y pérdidas Colector Avenida 81D.	54
Figura 31. Precipitación y pérdidas Colector Calle 7ª Bis.	55
Figura 32. Precipitación y pérdida Colector Avenida Cali.	55
Figura 33. Área de influencia colector Calle 7ª Bis.	57
Figura 34. Área influencia Colector 81D.	58
Figura 35. Superficie en Arcgis.	59
Figura 36. Secciones generadas a partir de AutocadCivil 3D.	59
Figura 37. Exportar de AutocadCivil 3D a Hec-Ras.	60
Figura 38. Topografía en Hec-Ras, Vista en planta.	60
Figura 39. Topografía en Hec-Ras, Vista 3D.	61
Figura 40. Caudales resultantes Balance hídrico.	61
Figura 41. Condiciones de contorno en Hec-Ras.	62
Figura 42. Condiciones de flujo en Hec-Ras.	62
Figura 43. Número de Manning en Hec-Ras.	63
Figura 44. Perfil de velocidad en el humedal El Burro año 2010.	63
Figura 45. Perfil de flujo en el humedal El Burro año 2010.	64
Figura 46. Perfil de velocidad en el humedal El Burro año 2012.	64
Figura 47. Perfil de flujo en el humedal El Burro año 2012.	65
Figura 48. Perfil de velocidad en el humedal El Burro año 2015.	65
Figura 49. Perfil de flujo en el humedal El Burro.	66
Figura 50. Digitalización de datos ArcMap.	67
Figura 51. Método IDW en ArcGis.	67

RESUMEN

En el presente trabajo de grado se realizó una evaluación del recurso hídrico en el humedal El burro después de la rehabilitación que realizó la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB, el cual se proyectó para el periodo de tiempo comprendido entre 2008 -2017.

El objetivo principal del proyecto fue evaluar el recurso hídrico en el humedal una vez ejecutada su rehabilitación. Esto se llevó a cabo, mediante la estimación de los aportes de carácter hidrológico, la simulación del comportamiento hidráulico en el humedal el burro mediante herramientas computacionales y la caracterización de la calidad del agua del humedal mediante procesos de interpolación.

La metodología que se planteó para la ejecución del proyecto consistió en la recolección de la información más representativa para la temática del proyecto, seguido de su posterior análisis, consecuentemente, se consideró la toma de muestras en campo por medio de una sonda multi paramétrica, posteriormente, se llevó a cabo el análisis y organización de la toma de muestras y finalmente se ejecutó la interpolación IDW por medio del software ArcGis en el humedal, consecuentemente, se llevó a cabo el modelo hidrológico y se realizó una simulación en el software Hec-HMS y finalmente se planteó el modelo hidráulico y se ejecutó una simulación Hec-RAS.

Fue posible representar gráficamente mediante mapas desarrollados en ArcGis algunos parámetros de calidad de agua. Así mismo, según el balance hídrico estimado en el periodo (2010-2012) se consideró que el humedal no presentó déficit hidrológico. También fue posible identificar la cota de inundación en diferentes tramos del humedal en los años estudiados al realizar la simulación en Hec-RAS con los caudales calculados mediante el balance hídrico y Hec-HMS.

Palabras clave: Humedales, hidrología, hidráulica, calidad del agua, recurso hídrico, software.

ABSTRACT

In this document water resource assessment it was conducted in the wetland El Burro after rehabilitation conducted by the Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB, which was projected for the period of time between 2008 -2017.

The main objective of the project was to assess the water resources in the wetland once performed rehabilitation. This was carried out by estimating the contributions of nature hydrological, hydraulic behavior simulation in the wetland donkey using computational tools and characterization of water quality in the wetland by interpolation processes.

The methodology proposed for the execution of the project involved the collection of the most representative information for the project theme, followed by further analysis, consequently, sampling field was considered by a multi parametric probe later was carried out the analysis and organization of sampling and finally the IDW interpolation is executed by the ArcGis software in the wetland consequently held the hydrological model and a simulation in Hec-HMS software was made and finally the hydraulic model was raised and Hec-RAS simulation was run.

It was possible to represent graphically using maps developed in ArcGis some water quality parameters. Also, according to the estimated period (2010-2012) water balance was considered that the wetland did not present hydrological deficit. It was also possible to identify the flood level in different sections of the wetland in the years studied by performing simulation Hec-RAS with the flow calculated by the water balance and Hec-HMS.

Keywords: Wetlands, hydrology, hydraulics, water quality, water resources, software.

INTRODUCCIÓN

Los recursos hídricos se enfrentan a una multitud de amenazas graves, todas ellas originadas principalmente por las actividades humanas, como la contaminación, el cambio climático, el crecimiento urbano y cambios en el paisaje como la deforestación. Cada una de ellas tiene un impacto específico, por lo general directamente sobre los ecosistemas y, a su vez, sobre los recursos hídricos.

La contaminación puede dañar los recursos hídricos y los ecosistemas acuáticos. Los principales contaminantes son, por ejemplo, la materia orgánica y los organismos patógenos contenidos en las aguas residuales, los fertilizantes y pesticidas procedentes de las tierras agrícolas, la lluvia ácida provocada por la contaminación del aire, y los metales pesados liberados por las actividades mineras e industriales (Naciones Unidas, 2014).

En el caso de los humedales, estos se han visto afectados por las actividades antrópicas de las que son objeto, por el hecho de estar presentes en una urbe como lo es Bogotá. Y se han convertido en cuerpos altamente vulnerables por aspectos como afluentes de aguas contaminadas, basuras. Esto a pesar de ser considerados como uno de los sistemas biológicamente más productivos y diversos del planeta (Barrero, 2003).

Este trabajo de grado evaluó el recurso hídrico del humedal El burro, el cual está ubicado en el sector sur-occidental de la localidad octava de Kennedy entre la Av. El Tintal y la Av. Ciudad de Cali, y entre la futura Av. Castilla y Av. Las Américas, en el que se comprendió el análisis de parámetros de calidad del agua, así mismo, se estimaron los aportes de carácter hidrológico simulando el proceso de lluvia-escorrentía mediante el software Hec-HMS y finalmente el comportamiento hidráulico por medio de una simulación mediante el software Hec-RAS.

Para llevar a cabo los objetivos del trabajo de grado, se propuso la metodología de la siguiente manera: En primera instancia se recolectó la información más relevante para enriquecer la temática principal y consecuentemente se procedió a analizarla. Posteriormente, se realizó la toma de muestras en campo, en seguida se continuó con la organización de la información y finalmente se realizó una interpolación por medio del software ArcGIS con datos de calidad de agua, consecuentemente, se ejecutó el modelo hidrológico y se realizó una simulación en el software Hec-HMS y finalmente se planteó el modelo hidráulico y se ejecutó una simulación Hec-RAS.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

Por muchos años, los humedales han sido considerados como tierras improductivas e insalubres, pobladas por organismos portadores de enfermedades.

Grandes esfuerzos se han dedicado a convertirlos en zonas para la producción agrícola o pesquería intensiva, o se han rellenado para crear nuevas tierras para el desarrollo urbano o industrial. Durante siglos, el drenaje de los humedales se ha considerado como un esfuerzo progresista, de interés público que mejora la salud y el bienestar de la sociedad. Esta actitud se reflejó desde temprano en el mundo industrializado, en legislaciones tales como los “U.S Federal Swamp Land Acts” (Acuerdos Federales relativos a las Tierras Pantanosas de los Estados Unidos) de 1849-50 y 1860, que se crearon para mitigar el peligro de inundación, para mejorar las condiciones sanitarias y para convertir tierras para la agricultura. Apoyados por una disposición del público para “dar a los humedales un mejor uso”, tanto gobiernos como particulares han invertido billones de dólares en la conversión de humedales. Es así, como en los Estados Unidos se han perdido el 54% (87 millones de hectáreas) de sus humedales originales. Existe menos información acerca de los porcentajes de la pérdida en Europa, pero, por ser un continente con una alta densidad de población, se cree que estos porcentajes son aún más altos. Desde 1960, se han perdido el 40% de los humedales costeros de la Bretaña en Francia, y dos tercios de los humedales restantes se ven seriamente afectados por el drenaje y actividades similares (Bladock, 1984). En el suroeste de Francia, se han drenado un 80% de los humedales de Las Landas. En Portugal; el 70% de los humedales del oeste del Algarve, han sido convertidos para el desarrollo agrícola e industrial (Baldock, 1984).

Los humedales han sido devastados porque la sociedad considera que su eliminación es ventajosa por sí misma o que resulta un precio muy bajo a pagar, comparado con los beneficios que se espera obtener de su conversión. En el presente esas políticas son condenadas cada vez más, por representar una visión limitada, social y económicamente indefendible (Unión mundial para la Naturaleza, 1992). Recientemente, conforme han ido desapareciendo los humedales, la sociedad ha empezado a apreciar sus beneficios. Existe ahora mayor conciencia de que los humedales son más valiosos en su estado natural, o apenas modificado, que si son drenados, embalsados o si se construye sobre ellos.

Es importante recordar que los humedales tienen una gran variedad de funciones, como el control de inundaciones, la purificación del agua, la regulación de cuencas hidrográficas y es protector de vida silvestre. De manera que si se alteran, sin tomar en consideración su valor integral, la población local podría sufrir de inmediato las consecuencias negativas. Toda la economía de una región o de una nación podría verse muy perjudicada si las alteraciones son muchas o de gran magnitud (Unión mundial para la Naturaleza, 1992).

En cuanto a Colombia se considera que la situación no está muy alejada de la situación en el mundo, ya que en las zonas urbanas muchos humedales se desecaron para construir edificios, como en Bogotá, ciudad en la que, después de tener 50.000 hectáreas de humedales, hoy no le sobreviven más de 1.000 hectáreas (Periódico El Tiempo, 2015).

Las principales amenazas que afectan a los humedales son un común denominador que presentan los humedales del mundo, muchos de estos han sido arrasados para darles espacio a las actividades agrícolas, tal como ocurrió en la laguna de Fúquene. Parte de ella ha sido invadida para introducir ganado lechero. Lo mismo ha pasado en La Mojana sucreña, con la cría de búfalos y cultivos de palma. Otros atentados son la pesca sin control y la construcción de canales y diques (Periodico El Tiempo, 2015).

En la actualidad el crecimiento de la ciudad de Bogotá ha generado un gran impacto ambiental sobre los recursos hídricos de la ciudad, de esta manera se pueden identificar en el interior de la ciudad zonas de importancia ecológica como lo son los humedales. En la actualidad en la zona metropolitana de Bogotá se encuentran 13 humedales, los cuales están siendo objeto de estudio por parte de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá (EAAB).

Según el plan de manejo ambiental (PMA) emitido, en 2008, por el instituto de estudios ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional de Colombia, existe gran variedad de problemáticas por las cuales es necesario intervenir el humedal El Burro, para poder identificar de manera ordenada cada aspecto se realizó en el PMA una clasificación desde el punto de vista hidrológico, ecológico, urbanístico y socioeconómico. Estos aspectos llevaron a delimitar la problemática en su componente hidrológico, debido a la fragmentación del humedal, deficiente calidad de agua que ingresa al humedal y su contaminación por disposición de basuras, escombros y ruido (Instituto de Estudios Ambientales, 2008), de manera que al ver al humedal inmerso en la ciudad lo convierte en un cuerpo de agua vulnerable y susceptible a alteraciones en la calidad del agua, debida al depósito de residuos

sólidos, ingreso de materia orgánica de alta densidad y pérdida del espejo de agua del humedal, lo cual afecta directamente la biodiversidad del humedal. Uno de los puntos críticos identificados es el afluente canal Castilla, que aporta sus aguas por el oriente del humedal.

Es así, que por medio de este trabajo de grado se propone estimar sus características hidrológicas basados en la información hallada, simulación de flujo que permitan realizar la evaluación de su comportamiento contemplando los años 2010, 2012 y 2015, además de la medición de algunos parámetros de calidad de agua a la fecha de toma de muestras.

Descripción de la zona de estudio.

Localización del Humedal.

El Humedal El Burro está ubicado en el sector sur-occidental de la localidad octava de Kennedy entre la Av. El Tintal y la Av. Ciudad de Cali, y entre la futura Av. Castilla y Av. Las Américas. El humedal El Burro tiene una extensión de 18.8 hectáreas de área de conservación y 0,2 ha de espejo de agua, que incluye el espejo de agua que fluye por el canal. Se encuentra dividido en dos zonas por la Avenida Ciudad de Cali. Está fragmentación ocurre en dos porciones desiguales, siendo la fracción oriental la más grande (Instituto de estudios Ambientales, 2008).

Figura 1. Delimitación del Humedal El Burro, entrada canal Castilla, espejo de agua 2 y vertedero de salida.



Fuente: Herramienta de localización Google Maps, Instituto de estudios ambientales IDEA; PMA El Burro; Universidad Nacional de Colombia; Octubre de 2008.

Geología en el Área del Humedal el Burro.

Los diferentes tipos de suelos que presenta este humedal son de origen aluvial porque su formación proviene de los sedimentos de las crecientes del Río Bogotá. Aun así, el humedal no tiene problemas de sedimentación ya que su capacidad de almacenamiento es de 101.000 m³ con relación a la producción de la subcuenca que es de 238 m³ (Instituto de Estudios Ambientales, 2008).

Es posible identificar que en su mayoría el suelo del humedal es aluvial dado el mapa geotécnico de características técnicas de la secretaria distrital de planeación en el cual se distinguen las zonas geotécnicas de la cuenca del río Bogotá (Zonas Geotécnicas de Bogotá, 2010).

Es posible ubicar el humedal en una zona en donde predominan depósitos aluviales y rellenos en su costado oriental, además de basuras en su costado occidental.

Fauna.

En los humedales bogotanos residen cuatro especies endémicas de la altiplanicie cundiboyacense: la Tingua Bogotana (*Rallus semiplumbeus*), el Cucarachero de Pantano (*Cistothorus apolinari*) y el Chamicero (*Synallaxis supbudica*) las dos primeras están amenazadas. Otras especies residentes cuyas poblaciones representan endemismos locales habitan en estos ambientes ellas son: el Pato Turrio (*Oxyura jamaicensis andina*), La Tingua Moteada Sabanera (*Gallinula melanops bogotensis*), incluidas en categoría de amenaza local; además de la Garza Dorada o Guaquito (*Ixobrychus exilis bogotensis*), el Canario Sabanero (*Sicalis luteola bogotensis*) y la Monjita Sabanera (*Agelaius icterocephalus bogotensis*), entre otras, cuyas poblaciones se restringen a estos ambientes. El Doradito Lagunero (*Pseudocolopteryx acutipennis*), especie vulnerable, también se ha registrado en algunos humedales de la región (Andrade, 2006).

Cronología en el Humedal el Burro.

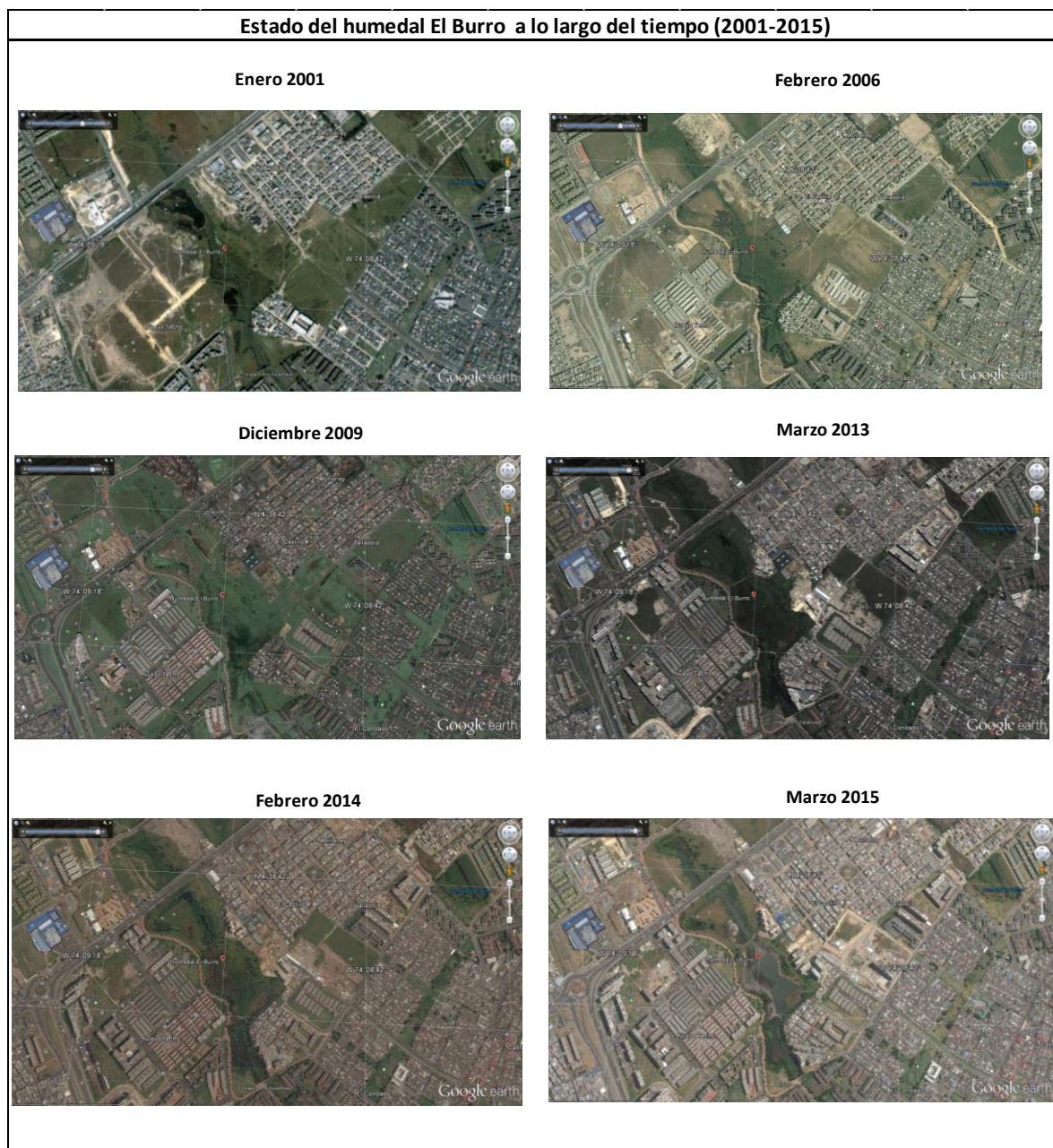
En la tabla 1, que se dispone a continuación se muestra a través de imágenes satelitales los cambios en cuanto a extensión que ha sufrido el Humedal El Burro a lo largo del tiempo en Bogotá. Es importante aclarar que se escogieron estos años ya que el software Google Earth no cuenta con información satelital antes del 2001.

Como se puede observar, el humedal ha sido afectado por las urbanizaciones que se han construido a su alrededor, las cuales han disminuido considerablemente su extensión original.

Otro aspecto que se puede evidenciar en la secuencia de imágenes, es la pérdida de espejo de agua que sufrió el humedal entre los años 2001 al 2012, donde se puede observar una recuperación del espejo de agua del humedal.

Considerando la disposición del humedal dentro de una ciudad capital como lo es Bogotá, está claro que este ecosistema es un cuerpo de agua totalmente vulnerable debido a las diferentes intervenciones de factores externos relacionado con el ser humano.

Tabla 1. Estado del Humedal el Burro a lo largo del Tiempo (2011-2015).



Fuente: Imágenes modificadas Google Earth .Estado del humedal El Burro a lo largo del tiempo.

JUSTIFICACIÓN.

La importancia de los humedales ha sido reconocida ampliamente, y se consideran uno de los sistemas biológicamente más productivos y diversos del planeta (Barrero, 2003).

Es importante considerar que los humedales localizados en las zonas urbanas prestan una serie de servicios eco sistémico tales como el control de inundaciones, recarga de acuíferos, regulación de ciclos biogeoquímicos y soporte de una variedad de especies de fauna, no sólo residentes, sino que también sirven de hábitat para especies migratorias terrestres y acuáticas. Así mismo, los humedales son espacios para el disfrute y la recreación pasiva y también prestan servicios para la investigación científica y la educación (Instituto de estudios Ambientales, 2008).

A pesar de los servicios ambientales que estos ecosistemas brindan a la sociedad, tradicionalmente han sido tratados como focos de enfermedades, de basura y contaminación, que deben ser rellenados y desecados para darles otros usos que generen beneficios económicos. Esta visión ha contribuido y promovido la desaparición de estos valiosos ecosistemas para convertirlos en botaderos de escombros, de basura y sitios de construcción de vivienda ilegal.

El aumento de la conciencia ambiental a nivel general, así como la ampliación de la participación ciudadana en la toma de decisiones públicas, ha llevado a fijar el interés por los humedales urbanos y han pasado a ser tenidos en cuenta en los procesos de planificación local.

El humedal El Burro, fue uno de los más deteriorados de la ciudad, puesto que sufrió una notable reducción de su área inundable y de su cuerpo, lo que llevó a la disminución y pérdida de hábitats. Actualmente el humedal se encuentra aislado de su cuenca de drenaje, el río Fucha, y adicionalmente los barrios adyacentes a éste descargan sus aguas residuales por conexiones ilegales, lo que implica una carga contaminante permanente sobre el humedal (Instituto de Estudios Ambientales, 2008). Afortunadamente con la reciente intervención realizada por parte del Acueducto de Bogotá, el camino para su recuperación se está llevando a cabo.

Es así, cómo desde el punto de vista de estudiantes de Ingeniería civil pensamos que la preservación del medio ambiente, en este caso de los humedales urbanos, es muy importante considerando que cada vez en nuestra ciudad hay menos espacios verdes. Ello debido al rápido desarrollo urbano que se está generando en la ciudad.

OBJETIVOS.

Objetivo General.

Evaluar el recurso hídrico en el humedal El Burro después de su reconfiguración.

Objetivos Específicos.

- Estimar aportes de carácter hidrológico en el humedal el Burro.
- Simular el comportamiento hidráulico en el humedal el Burro mediante Hec-Ras.
- Representar gráficamente la distribución de parámetros de calidad del agua en el humedal mediante interpolación.

ALCANCE.

Este proyecto se caracteriza por la puesta en práctica de conceptos de hidráulica, hidrología y calidad de agua mediante el uso de software que permitan realizar un análisis en el humedal El Burro. La toma de datos realizada se basará en mediciones superficiales en los puntos de acceso peatonal en el humedal, en donde sea posible evidenciar visualmente cambios de velocidad en el flujo y lo más cerca posible a los vertimientos, ya que se dificulta el acceso a causa de la vegetación. Así mismo, no se tendrán en cuenta micro mediciones de velocidad debidas a flujo por medio de vegetación.

Este proyecto se basó en el uso de ArcGis para la representación gráfica en el humedal estudiando los datos de calidad de agua recolectados mediante una sonda multi paramétrica, Hec – hms en cuanto a fenómenos de lluvia-Escurrentía del agua a lo largo de su área de influencia y Hec-Ras para la simulación en cuanto a flujo de agua se refiere en el humedal. Al ser un proyecto que busca la simulación vale la pena aclarar que se busca descubrir su comportamiento a la fecha de muestreo a partir de datos hallados mediante el uso de un medidor multiparámetro, no busca plantear modelación para llegar a proyectar escenarios en series de tiempo futuras.

Se busca simular las condiciones hidráulicas en la batimetría suministrada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá ante los caudales estimados en los años 2010, 2012 y 2015 teniendo en cuenta el balance hídrico propuesto basados por UNESCO, 1984.

Se resalta el propósito de las mediciones para realizar un análisis superficial, excluyendo características de flujo subterráneo.

MARCO REFERENCIAL

Para desarrollar este marco referencial se realizó una búsqueda que relacionara palabras claves como reconfiguración hidrológica, modelación hidrológica, calidad de agua y balance hídrico de humedales.

Antecedentes.

El aumento de la conciencia ambiental a nivel general, así como la ampliación de la participación ciudadana en la toma de decisiones públicas, ha llevado a fijar el interés por los humedales urbanos y rurales y han pasado a ser tenidos en cuenta en los procesos de planificación local y regional.

Una evidencia de este hecho, es la promulgación por parte del Ministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial de la Resolución 0157 de febrero de 2004, donde se reglamenta el uso sostenible, conservación y manejo de los humedales y se establece la obligación de las autoridades ambientales de elaborar e implementar planes de manejo ambiental en los humedales a nivel nacional. En el año 2002, se elabora el documento de Política Nacional para Humedales Interiores de Colombia, paralelamente se trabaja en la elaboración de la Política de Humedales del Distrito Capital, publicado en noviembre del año 2005; luego en el año 2006, se expide la Resolución 096 de 2006, por la cual se adopta la Guía Técnica para la Formulación de Planes de Manejo para Humedales en Colombia y recientemente se expide el Decreto 062 de 2006, por medio del cual se establecen mecanismos, lineamientos y directrices para la elaboración y ejecución de los Planes de Manejo Ambiental para los humedales ubicados dentro del perímetro urbano del Distrito Capital. Esta proliferación de reglamentaciones y documentos de política, en un lapso muy corto, evidencian el interés de la administración estatal y en general de la sociedad por la conservación de los valores ambientales y ecológicos de estos ecosistemas estratégicos para la ciudad (Instituto de Estudios Ambientales, 2008).

Es importante considerar que antes de la reconfiguración ejecutada en el humedal, este presentaba problemáticas desde los aspectos hidrológico, hidráulico, ecológico, urbanístico y socioeconómico.

Considerando la problemática desde el punto de vista hidrológico e hidráulico se resalta la fragmentación del cuerpo de agua en dos sectores, deficiente calidad del agua que ingresa al humedal, contaminación por disposición de basuras, escombros y ruido, pérdida acelerada de área inundable y ronda, pérdida de la capacidad para amortiguar inundaciones y déficit hídrico.

Es así, como en el Plan de Manejo Ambiental PMA del humedal El Burro, la EEAB ejecutó obras de rehabilitación de la franja acuática y semiacuática, las cuales consistieron en la ampliación de la capacidad de amortiguamiento hidráulico del humedal para el paso de crecientes en época invernal y la mejora de la oferta de hábitats acuáticos para especies de fauna propios de este ecosistema.

Para ello se realizaron obras de levantamiento, replanteo y nivelación topográfico, adecuación de carretables, dragado del humedal, secado de lodos, retiro de material producto del dragado hacia los sitios de disposición final, actividades de carácter ambiental, social, forestal y de fauna así como la reconfiguración de taludes para la recuperación de hábitats acuáticos y subacuáticos. Las obras fueron entregadas a la comunidad del sector y a la ciudad por parte de la Alcaldía Mayor, la Alcaldía Local y la empresa de Acueducto en medio de un recorrido por el humedal el 5 de junio de 2015.

Estado del Arte.

Contemplando la existencia del manual 13 para el inventario, evaluación y diagnóstico de humedales presentado en RAMSAR se reconoce la existencia de una metodología con la cual se pueden llegar a evaluar los parámetros de calidad de agua e hidrológicos que puedan llegar a afectar el ecosistema, en dicho manual se puede orientar la evaluación de calidad de agua justificando la toma de datos tales como temperatura, turbidez, pH, color, salinidad y conductividad¹. Se identifica la necesidad de evaluar el régimen hídrico teniendo en cuenta el origen del agua en el humedal, entrada y salida, evaporación y flujo.

Se puede destacar el trabajo realizado en la zona norte del municipio de la dorada Caldas (Vargas, 2013) en donde se describen las condiciones eco hidrológicas de los humedales en esa zona, en el cual con base en el análisis de la información hidrológica se utilizó el método SCS para transformar la lluvia en escorrentía utilizando el modelo Hec-HMS, así mismo se realizó la modelación hidráulica mediante el modelo Hec- Ras.

En Bogotá se han realizado intervenciones por parte de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, los cuales han llevado a la rehabilitación de los humedales que hacen parte del sistema hídrico. En el humedal La conejera se desarrollaron perfiles de flujo y niveles de inundación a través del cauce del humedal utilizando el software Hes-Ras (Fundación Humedal La Conejera, 2006).

¹ RAMSAR; Manual 13: Inventario, Evaluación y monitoreo; 4 Ed. Cuadro 2 Campos de datos básicos para el inventario de Humedales; pag.21.

En cuanto a selección de metodología de interpolación se tuvo en cuenta estudios realizados en Costa Rica por el ministerio de Agricultura y ganadería en el cual se realizó una comparación de métodos de Kriging e IDW por ser los más utilizados en los estudios de análisis de la variación espacial para la interpolación de parámetros químicos en el año 2008 (Villatoro,2008), de manera que se tuvieron en cuenta las recomendaciones de carácter estadístico para el buen desarrollo de la interpolación y la confiabilidad de sus resultados presentadas en sus conclusiones.

Teórico.

¿Qué es un humedal?

El humedal es un ecosistema que se encuentra entre el medio acuático y el terrestre, con porciones húmedas, semi húmedas y secas, caracterizado por la presencia de flora y fauna muy singular. El Convenio Internacional de Ramsar, realizado en 1971 en la ciudad iraní al que debe su nombre, fue convocado por la alarmante desaparición de miles de hectáreas de humedales en todo el mundo, y el consecuente peligro de extinción de las especies que los habitan².

El Convenio define a los humedales como "extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina, cuya profundidad en marea baja no exceda de 6 metros" (Ramsar, 2015).

Clasificación del humedal El Burro Según RAMSAR.

Teniendo en cuenta esta información , se considera al humedal El burro como un humedal interior de sistemas fluviales y palustres intermitentes o permanentes con vegetación emergente³.

² Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Documento Humedales de Bogotá.[en línea].<<http://www.bogota.gov.co/guia/interfaz/usuario/anexos/Humedales.doc>.> [citado en junio 2 de 2015]

³ Manual de Convencion de ramsar; Cuadro de sistema de clasificación de tipos de Humedales de Ramsar; 6 Ed; 1 de enero de 2013.

Hidrología del Humedal.

Se refiere al conjunto de procesos que introducen agua, la almacenan y la desalojan, el balance hídrico de un humedal está compuesto por entradas y salidas de agua presentadas de diferentes formas físicas.

La precipitación es el proceso por el cual el agua cae directamente sobre el perímetro inundable del humedal, puede ser de forma líquida o sólida, pero esta no es la única manera con la cual el humedal se abastece de manera superficial, la escorrentía hace parte del proceso y es donde el agua que cae por fuera de la cubeta del humedal es transportada hacia él. Además de la escorrentía superficial y la precipitación, existen procesos en los cuales el humedal se abastece de agua subterránea ya que el agua contenida por los poros y grietas se mueve al estar sometida a presiones en distintos lugares.

La evaporación es el proceso mediante el cual el agua pasa de fase líquida a gaseosa mediante la intervención de la radiación solar, además existe la evapotranspiración, con la cual las plantas se alimentan y toman agua subterránea por medio de sus raíces.

Los procesos anteriormente mencionados son necesarios para determinar el balance existente entre nutrientes, solutos y flujos de energía así como para prever posibles cambios de entrada y salida del humedal.

Fue necesario familiarizarse con las entidades encargadas del seguimiento hidrológico en Colombia (IDEAM), ya que son los encargados del control de pluviómetros los cuales son utilizados para medir la altura de lluvia caída durante un periodo de tiempo. El uso de estos Instrumentos se complementa con metodologías para estimar la precipitación media espacial, en donde se pueden encontrar metodologías como de media aritmética, polígonos de Thiessen, o de isoyetas (Garrido; 2009).

Balance Hídrico.

Las técnicas del balance hídrico, uno de los principales objetivos en hidrología, son un medio para solucionar importantes problemas hidrológicos teóricos y prácticos. A partir de un estudio del balance hídrico es posible hacer una evaluación cuantitativa de los recursos de agua y sus modificaciones por influencia de las actividades del hombre (Unesco, 1984).

El conocimiento del balance hídrico es también muy importante para el estudio del ciclo hidrológico. Con los datos del balance es posible comparar recursos específicos de agua en un sistema, en diferentes períodos de tiempo, y establecer el grado de su influencia en las variaciones del régimen natural (Unesco, 1984).

Micro Climas en Bogotá.

La Organización de las Naciones Unidas define el clima de un lugar o región como “el conjunto de los elementos atmosféricos y sus variaciones en un periodo dilatado de tiempo” (UN, 1997).

El clima varía en el espacio en función de multitud de factores de carácter geográfico, tales como la latitud, la distancia al mar, la vegetación y la presencia o ausencia de sistemas orográficos, entre otros. Y varía en el tiempo, de estación en estación, de año en año y en escalas temporales mayores. Las fluctuaciones del clima durante determinados periodos de tiempo se denominan variabilidad climática. Durante un año en particular, se registran valores por encima o por debajo de lo normal en cualquier variable meteorológica. La Normal Climatológica o valor normal, se utiliza para definir y comparar el clima y generalmente representa el valor promedio de una serie continua de mediciones de una variable climatológica durante un período de por lo menos 30 años. A la diferencia entre el valor registrado de la variable y su promedio se le conoce como Anomalía. La secuencia de estas oscilaciones alrededor de los valores normales, se conoce como variabilidad climática, y su valoración se logra mediante la determinación de las anomalías (Montealegre, 2009).

Software aplicable a simulación hidrológica e hidráulica

Hec-HMS es un simulador del proceso de precipitación-escurrecimiento en cuencas mediante el método SCS. Puede ser utilizado en pequeñas cuencas urbanas, o en grandes cuencas sin intervención, los resultados se pueden aplicar para estudios de disponibilidad de agua, drenaje urbano, observación de flujo, impacto de intervenciones en cuencas, reducción del daño por inundaciones, operación de sistemas, etc. Los componentes del modelo son utilizados para simular la respuesta hidrológica en una cuenca. Estos incluyen; modelos de cuencas, modelos meteorológicos, especificaciones de control y datos de entrada (Nanía, 2007).

Hec-RAS, es un programa de modelización hidráulica unidimensional. Nos permite simular flujos en cauces naturales o canales artificiales para determinar el nivel del agua por lo que su objetivo principal es realizar estudios de inundabilidad.⁴

Marco Legal.

El decreto 1076 del 26 de mayo de 2015, es una compilación de las normas expedidas por el Gobierno Nacional en cabeza del Presidente de la República, en ejercicio de las facultades reglamentarias otorgadas por el numeral 11 del artículo 189 de la Constitución Política. La pretensión de esta iniciativa es recoger en un solo cuerpo normativo todos los decretos reglamentarios vigentes expedidos hasta la fecha, que desarrollan las leyes en materia ambiental. Teniendo en cuenta esta finalidad este decreto no contiene ninguna disposición nueva, ni modifica las existentes (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

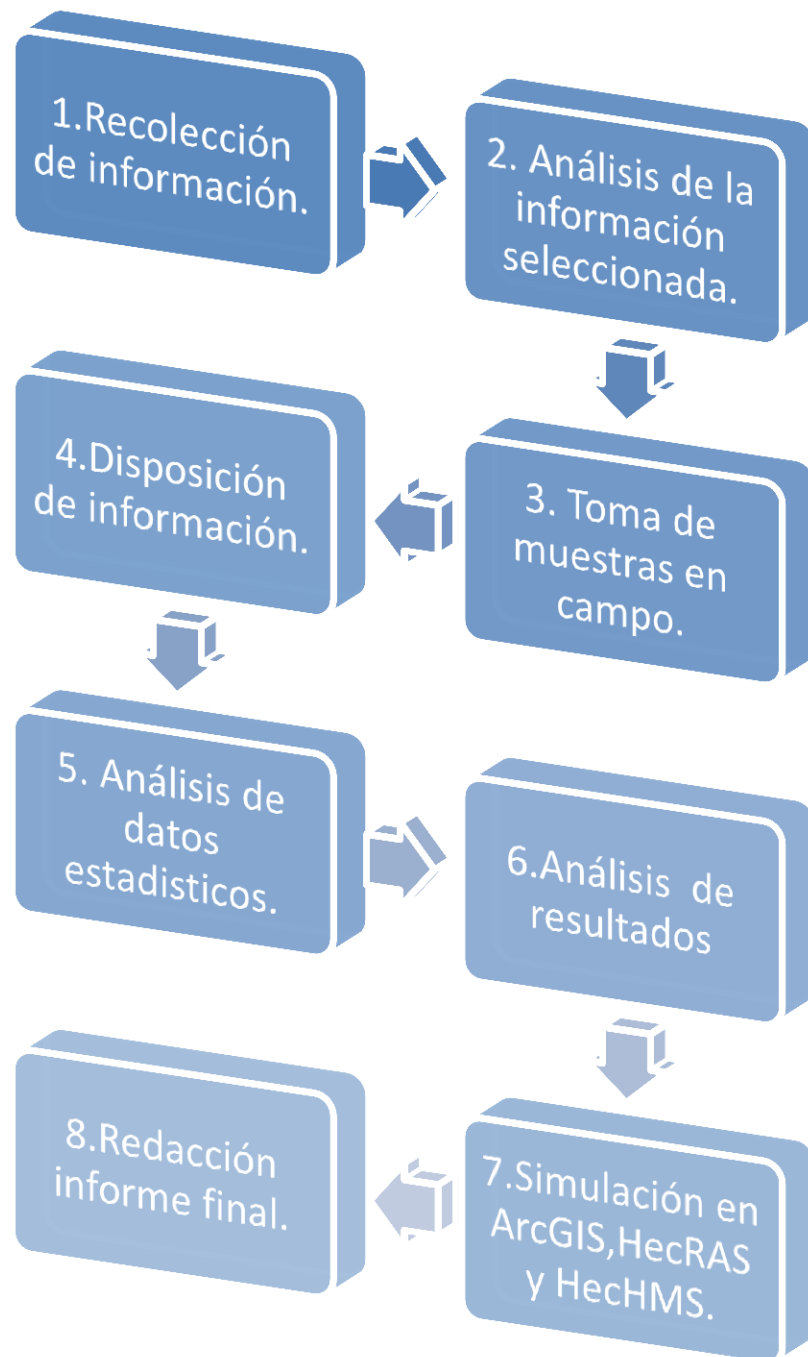
Entre los decretos reglamentarios que se integraron se encuentra el decreto 1594 de 1984 en el cual se dispone la información de usos de agua y residuos líquidos.

⁴ Cursos Gis; ¿Qué es Hec Ras?; [consultado en línea] < <http://www.cursosgis.com/index.php/blog-cursosgis/95-que-es-hec-ras-y-para-que-sirve.html> > [Citado el 14 de Oct. de 15].

METODOLOGÍA

Las etapas propuestas para este proyecto fueron ajustadas a los propósitos establecidos en los objetivos.

Figura 2. Metodología General del Proyecto.



Información Seleccionada para el Desarrollo del Proyecto.

Tabla 2. Información Suministrada e Investigada.

Información suministrada e investigada.	
Sistemas de información	
Información de tipo espacial.	
Batimetría	La información fue suministrada por la Empresa de Acueductos y Alcantarillados de Bogotá, en el plano de planta general y localización de obras, suministrada por la Gerencia corporativa, ambiental y dirección de gestión ambiental del sistema hídrico.
Geológica	La información fue tomada del Decreto de micronificación 5232 de 2010 de la Alcaldía Mayor de Bogotá.
Territorial	La información fue tomada del documento Localidad de Kennedy ficha básica, de la Alcaldía local de Kennedy.
Geofísico	La información geofísica fue resultado del análisis, mediante los softwares Google earth, Google maps, ArcGIS. Así mismo, la ubicación espacial de los datos tomados en campo fue obtenida mediante el GPS y la sonda multi paramétrica.
Información de tipo hidrológica.	
Escala Temporal	Basando la escala temporal en la información suministrada por el IDEAM(Tabla 29 y 30) y EAAB, se utilizó una escala temporal anual.
Escala Espacial	La información fue extraída del Informe técnico No. 01575, Descripción y contexto de las cuenas hídricas del Distrito Capital. La información ampliada en el numeral 1.6.8.3 modelo hidráulico.
Coefficiente de Escorrentía	Dato teórico suministrado por Elementos de Diseño para Acueductos y alcantarillados, Ricardo López Cualla, tabla 16,3.
Intensidad promedio de lluvia	Basando la escala temporal en la información suministrada por el IDEAM(Tabla 29 y 30) y EAAB, se utilizó una escala temporal anual.
Número de curva	Dato teórico suministrado por United States Department of Agriculture; Urban hydrology of small Watersheds.
Información de tipo hidráulica.	
Caracterización de vertimientos	La información fue suministrada por la Empresa de Acueductos y Alcantarillados de Bogotá, en el plano de planta general y localización de obras, suministrada por la Gerencia corporativa, ambiental y dirección de gestión ambiental del sistema hídrico. La información se amplía en la tabla 18.
Pendiente	Mediante el uso del software Google Earth fue posible identificar la pendiente de elevación en el Humedal El Burro.
Número de Manning	Dato teórico suministrado por Hidraulica de canales abiertos, Ven Te Chow, tabla 4.8.
Información de Calidad del agua en el Humedal	
Caracterización Calidad del agua	IX Fase del programa de seguimiento y monitoreo de efluentes industriales y afluentes al recurso hídrico de Bogotá 3.1.8.
Información de tipo socioeconómica	
Estratificación y uso de suelo	La información fue tomada del documento Localidad de Kennedy ficha básica, de la Alcaldía local de Kennedy.
Información de tipo ecológica	
Flora y Fauna	La información fue consultada mediante consulta web a EAAB y Plan de manejo ambiental caracterización diagnóstica Humedal El Burro; Universidad Nacional de Colombia; Octubre 2008 .

Fuente: Autores.

Evaluación del Espejo del Agua a través del tiempo.

Mediante la observación de imágenes satelitales fue posible identificar el comportamiento del humedal, de tal manera que se realizó una evaluación del comportamiento del espejo de agua desde el año 2001 hasta el año 2015, y así se pudo observar y cuantificar la evolución, incremento o decremento del área de agua del humedal El Burro.

Figura 3. Espejos de Agua en el Año 2001.



Fuente: Imagen Modificada Google Earth.

Figura 4. Espejo de Agua en el Año 2006.



Fuente: Imagen Modificada Google Earth.

Figura 5. Espejo de Agua en el Humedal Año 2009.



Fuente: Imagen Modificada Google Earth.

Figura 6. Espejo de Agua en el Humedal Año 2010.



Fuente: Imagen Modificada Google Earth.

Figura 7. Espejo de Agua en el Humedal Año 2012.



Fuente: Imagen Modificada Google Earth.

Figura 8. Espejo de Agua en el Humedal Año 2013.



Fuente: Imagen Modificada Google Earth.

Figura 9. Espejo de Agua en el Humedal Año 2014.



Fuente: Imagen Modificada Google Earth.

Figura 10. Espejo de Agua en el Humedal Año 2015.



Fuente: Imagen Modificada Google Earth.

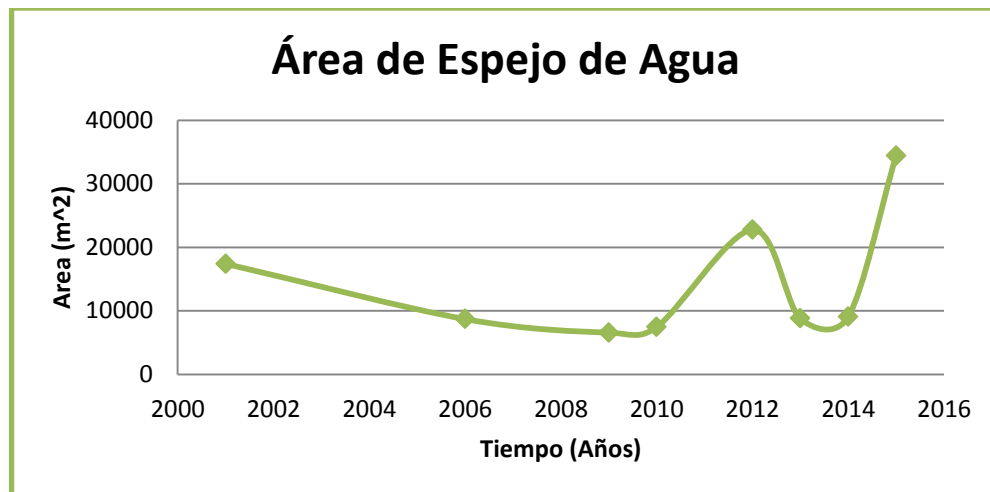
Es posible Identificar grandes variaciones en el área mostrada por el espejo del agua a través del tiempo en las imágenes tomadas en Google Earth, se logra identificar un pico inusual en el año 2012 y 2015.

Tabla 3. Variación de Agua en el Tiempo.

Área Espejo de Agua		Año
17397,896	m2	2001
8.696,062	m2	2006
6562,893	m2	2009
7444,142	m2	2010
22780,354	m2	2012
8817,847	m2	2013
9058,27	m2	2014
34406,789	m2	2015

Fuente: Imagen Modificada Google Earth.

Figura 11. Área de Espejo de Agua en el Tiempo.



Estas variaciones pudieron verse modificadas por el abastecimiento de agua por medio de carotanes hechas por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

Toma de muestras en campo.

Se diseñó un acta con la cual se consignaron los datos tomados en campo de manera clara y ordenada tal y como se observa en el anexo A.

Es importante tener en cuenta que al realizar solo dos campañas de muestreo no es posible realizar conclusiones con alta confiabilidad estadística.

Primera toma de muestras.

Se identificaron puntos de control sobre el humedal de manera tal que se pudiera rodear el cuerpo de agua y se tomaran las mediciones con la sonda multi paramétrica.

Figura 12. Primera toma de muestras humedal El Burro.



Los datos recolectados en la primera toma de muestras se pueden observar en las actas 1 a 7 consignadas en los documentos Anexos A.

Figura 13. Colector humedal El Burro.



Segunda toma de muestras.

Los datos recolectados en la segunda toma de muestras se observan en las actas 8 a 14 en los documentos Anexos A.

Figura 14. Cuerpo de agua humedal El Burro.



Se presentan los datos con extraídos de las Actas (Anexo A) debidas a la toma de datos del día 30 de octubre de 2015 ya que a percepción de los autores esta toma de datos tiene mayor confiabilidad debido al buen procedimiento en campo y al respeto que se tuvo en la cadena de custodia.

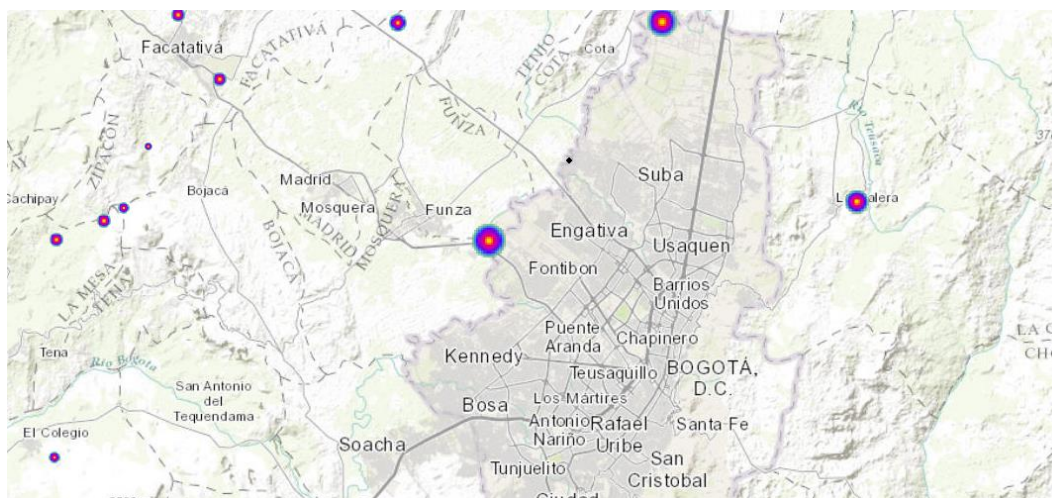
Planteamiento modelo hidrológico e hidráulico.

Selección de información hidrológica.

Para poder desarrollar este modelo fue necesario estudiar las posibilidades de información hidrológica que pueden suministrar entidades en Bogotá. En primera instancia se verifico la información que pudiera brindar la Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca CAR y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM.

En la figura 15, se observan las estaciones hidrológicas de la Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca (CAR).

Figura 15. Estaciones meteorológicas de Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.



Fuente: Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca; Estaciones Hidrológicas y áreas aferentes en Bogotá; En Línea < <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=e65e7a7ac41949bc92b2b5ef1455ebf3>> Fecha de Consulta: 23 de abril de 2016.

Es posible observar que la estación hidrológica más cercana al perímetro urbano de Bogotá por parte de la Corporación Autónoma Regional (CAR) se encuentra próxima al aeropuerto El Dorado, la cual se encuentra considerablemente alejada al humedal El Burro por lo cual se descarta esta Información.

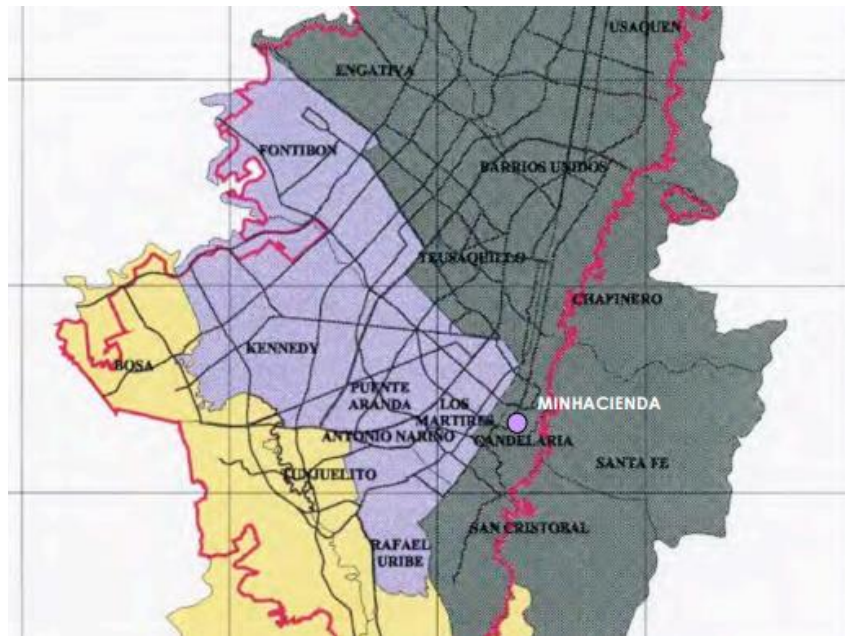
Figura 16. Red Meteorológica IDEAM Aferente a humedal EL Burro.



Fuente: IDEAM; En Línea < <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>> Fecha de Consulta: 1 de Marzo de 2016.

Para identificar la relevancia de las estaciones meteorológicas sobre el humedal fue necesario identificar el mapa de micro climas en Bogotá de manera tal que podemos identificar 5 estaciones que pueden llegar a suministrar información al humedal el Burro de las cuales solamente las estaciones 2 (estación INEM KENNEDY) y 3 (estación COLEDIO H. DURAN DUSA) se encuentran activas.

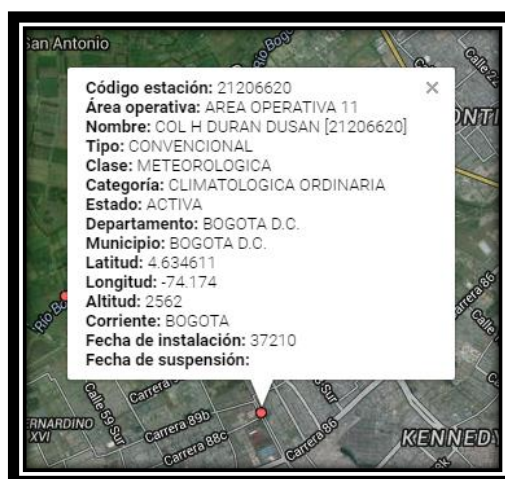
Figura 17. Mapa de Micro Climas en Bogotá



Fuente: Plan Institucional de gestión Ambiental; Ministerio de hacienda y crédito público; 2011; pg 15; En Línea<<http://www.minhacienda.gov.co/portal/page/portal/HomeMinhacienda/elministerio/Planes/5.PIGA/piga.pdf>> Fecha de Consulta: 22 de Abril de 2016.

Es importante considerar que las estaciones pluviométricas más cercanas al humedal El burro son Inem Kennedy (Corresponde al número 2 en la figura 16) y Colegio H.Duran Dusan (Corresponde al número 3 en la figura 16), de manera que los datos utilizados serán los suministrados por dichas estaciones.

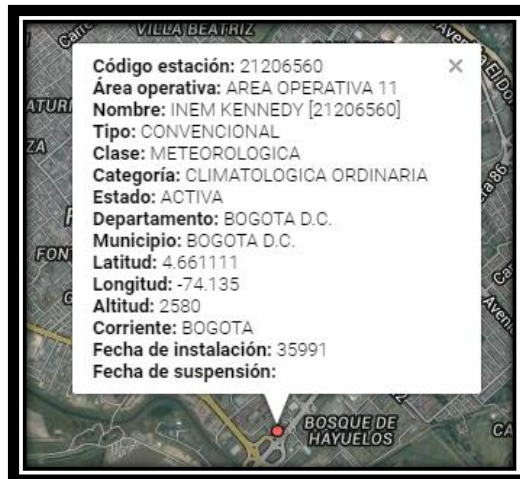
Figura 18. Ficha de la estación ubicada en el Colegio Duran Dusan.



Fuente: IDEAM; Información estación Colegio Duran Dusan; Fecha de consulta Febrero 25 2016.

La Segunda estación meteorológica más cercana al Humedal se encuentra en el Colegio Inem Kennedy y se identifica con el código 21206560 y se encuentra en estado activo.

Figura 19. Ficha de la estación meteorológica ubicada en el Colegio Inem Kennedy.



Fuente: IDEAM; Información estación Inem Kennedy; Fecha de consulta Febrero 25 2016.

Periodos hidrológicos a analizar

Se analizaron periodos de lluvia y estiaje después de la recuperación realizada por la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá en el año 2008 para realizar una comparación del comportamiento del humedal ante estas épocas. Dados los datos de precipitación se tomó el año en el cual se presentó la mayor intensidad de lluvias (2010) con datos de precipitación promedio anual completos y el año que presento menor intensidad de lluvias (2012) con datos de precipitación anual completos.

Para los cálculos de precipitación se tendrán en cuenta los siguientes datos.

Tabla 4. Valores totales mensuales de precipitación (mms)

VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mms)															SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL
FECHA DE PROCESO : 2016/03/02															ESTACION : 21206620 COL H DURAN DUSAN
LATITUD 0438 N															FECHA-INSTALACION 2001-NOV
LONGITUD 7410 W															FECHA-SUSPENSION
ELEVACION 2562 m.s.n.m															
TIPO EST CO DEPTO BOGOTA D.C. ESTACION : 21206620 COL H DURAN DUSAN															
ENTIDAD 01 IDEAM MUNICIPIO BOGOTA															
REGIONAL 11 BOGOTA CORRIENTE BOGOTA															
A#O	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL
2002	2	01					7.9	68.9	9.0	9.4	6.8	16.5	3		118.5
2003	1	01	.0	9.5	37.3	32.6	5.8	22.9	3						108.1
2004	1	01						28.1	3	42.6	20.9	33.5	3	81.8	324.6
2005	1	01	*		*	59.2	95.6	3						3.7	154.8
2006	1	01				111.1									111.1
2007	1	01					107.4	3	122.9	3	*	12.1	3	92.5	334.9
2008	1	01	*	55.1	97.1	3				*		12.1	3	92.5	152.2
2009	1	01			*	56.3	*	36.9	3	39.9	3	2.4	3	94.9	335.0
2010	1	01	1.2	22.0	31.4	157.7	156.9	93.0	99.5		55.9	95.2	244.7	175.9	1133.4
2011	1	01	43.3	51.2	*	145.4	92.5	45.1	44.3	54.7	33.1	101.5	159.0	129.1	899.2
2012	1	01	*	56.0	76.0	3	201.8	52.9	33.8	41.8	60.2	37.8	118.0	32.1	766.0
2013	1	01	1.5	41.7				*		54.0	17.0			55.6	114.2
2014	1	01	17.0	27.0	41.5	74.7									160.2
2015	1	01							*	76.1	3	42.7			118.8
MEDIOS			12.6	37.5	56.7	104.9	74.1	56.5	47.4	45.0	26.8	90.4	120.4	76.9	749.2
MAXIMOS			43.3	56.0	97.1	201.8	156.9	122.9	99.5	76.1	55.9	118.0	244.7	175.9	244.7
MINIMOS			0.0	9.5	31.4	32.6	5.8	22.9	9.0	9.4	2.4	16.5	32.1	3.7	0.0

Fuente: IDEAM, Datos Valores de Precipitación mensuales. Estación Col H. Durán Dusan. Fecha de consulta Marzo1 2016.

Tabla 5. Valores de precipitación mensuales. Estación Inem Kennedy. Fecha de consulta Marzo 1 2016.

VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mms)															SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL	
FECHA DE PROCESO : 2016/03/02			ESTACION : 21206560 INEM KENNEDY												FECHA-INSTALACION 1998-JUL	
LATITUD 0439 N			TIPO EST 01		CO 01 IDEAM		DEPTO BOGOTA D.C.		FECHA-SUSPENSION							
LONGITUD 7408 W			ENTIDAD REGIONAL		11 BOGOTA		MUNICIPIO BOGOTA									
ELEVACION 2580 m.s.n.m																
A#O	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL	
1998	2	01														
1999	2	01	30.2 3	100.7 3	27.3 3	67.5 3	34.8 3	97.1 3	10.0 3	44.1 3	102.2 3	117.0 3	19.3 3	54.1 3	292.6 3	
2000	2	01	15.8 3	112.3	95.4	57.1	77.4	58.6	48.0	50.0	79.5 3	83.0 3	28.9	30.9 3	634.0 3	
2001	2	01	11.3	14.0	20.8	10.1	82.9	24.9	32.5 3	9.8	39.4	18.5 3	48.2	25.1	14.6	668.2 3
2002	2	01	10.5	15.5	59.1	54.2 3	66.8 3	37.1	13.4	21.8 3	83.6	62.2	54.1	31.1	509.4 3	
2003	1	01	1.7	12.1	48.9 3	50.7 3	20.1	44.7	31.7	13.2	24.3	100.6	88.5 3	20.2 3	456.7 3	
2004	1	01	16.5 3	52.3 3	40.8 3	140.2 3	121.0 3	61.3	11.7	*	87.1 3	60.2	13.9	40.0	605.0 3	
2005	1	01	15.6 3	29.4 3	38.5 3	63.4	119.2	26.8	35.3	45.3	53.8	86.9	44.4	40.0	598.6 3	
2006	1	01	22.7 3	10.4 3	97.5 3	109.2 3	114.0	102.7	*	30.2	41.3 3	76.1	65.8 3	14.1	684.0 3	
2007	1	01		30.5 3				68.0 3	40.2 3						138.7 3	
2008	1	01	16.0 3	48.4 3	84.3 3	168.1 3	168.3 3	108.8 3	75.9	57.1 3	26.8 3	91.5 3	126.0 3	54.2 3	1025.4 3	
2009	1	01	*	60.6 3	96.7	48.1	30.4	34.3 3	*	32.5	14.0	148.2	61.5	10.6	536.9 3	
2010	1	01	.8	18.5	30.9	177.8	159.1	90.7	118.8	44.3	69.7	119.8	214.3	175.5	1220.2	
2011	1	01	38.1	43.5	128.9	194.9	112.3	42.6	38.5	57.9	24.8	126.8	160.5	97.7	1066.5	
2012	1	01	20.6	53.3	106.2	174.9	37.9	32.5	32.9	42.2	11.9	102.6	46.3	47.7	709.0	
2013	1	01	2.5	62.5	100.3										165.3 3	
2014	1	01	18.2	52.9	49.9	64.0	66.7	48.2	22.6	19.3	44.8	88.9	105.4	97.1 3	678.0 3	
2015	1	01	42.5	17.5	57.2	49.3	27.0	42.7							236.2 3	
MEDIOS			17.5	43.2	65.5	95.6	82.5	57.6	39.3	36.0	48.0	91.1	76.6	50.2	703.2	
MAXIMOS			42.5	112.3	128.9	194.9	168.3	108.8	118.8	57.9	102.2	148.2	214.3	175.5	214.3	
MINIMOS			0.8	10.4	20.8	10.1	20.1	24.9	10.0	9.8	11.9	18.5	19.3	10.6	0.8	

Fuente: IDEAM, Datos Valores de Precipitación mensuales. Estación Inem Kennedy. Fecha de consulta Marzo1 2016.

Considerando los métodos para determinar la lluvia sobre un área, se encontró que el más apropiado era la media aritmética, ya que solo se tienen datos relevantes al humedal por parte de dos estaciones meteorológicas sobre la el área del micro clima del humedal con lo cual no se podría aplicar el método de Thiessen o las isoyetas.

Afluentes del humedal El Burro.

Es necesario realizar una caracterización de los afluentes en el humedal y caracterizar las áreas aferentes de los vertimientos de agua lluvia para poder determinar los aportes al humedal.

Tabla 6. Afluentes al humedal El Burro.

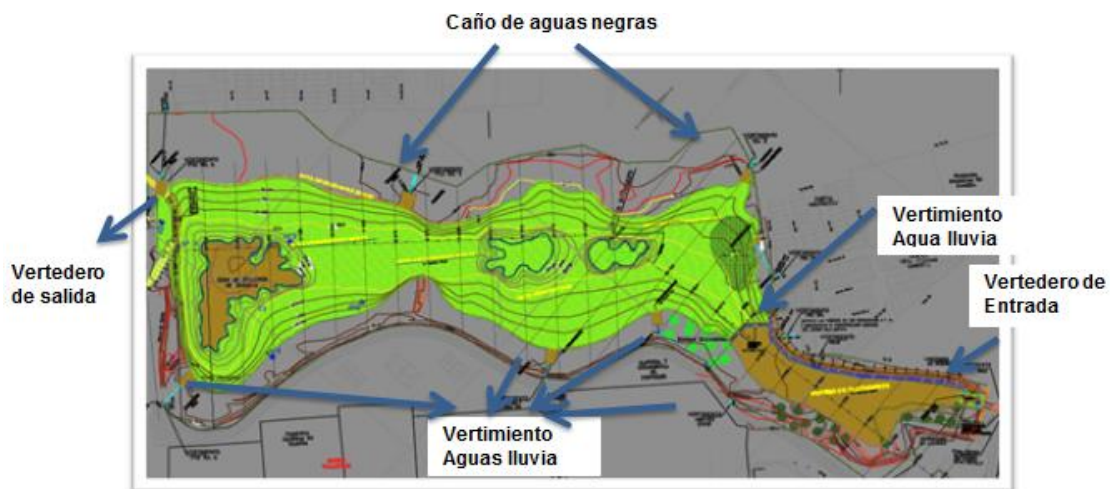
Afluentes al Humedal El Burro	
Cruce Avenida Ciudad de Cali	
Colector de aguas combinadas que vierte directamente en el humedal a través de una tubería de 36" diámetro.	Aguas Lluvias
Colector Carrera 81B-Barrio Ciudad Techo II	
Colector de aguas lluvias entrega directamente en el humedal El Burro. Localizado en la carrera 81B, en el costado occidental del humedal proveniente del barrio ciudad de Techo con una Tubería de 36" de Diámetro.	Aguas Lluvias

Colector Avenida carrera 80G	
Descargue de aguas pluviales directamente sobre el Humedal en el costado sur occidental del humedal, consta de una tubería de 36" en cercanías al conjunto parques de Castilla.	Aguas Lluvias
Colector Conjunto Agrupación Pio XII	
Tubería al costado sur del Humedal contigua al Canal Castilla, el vertimiento de aguas lluvias proviene del conjunto agrupación pio XII compuesta por tres tuberías de 36" de diámetro.	Aguas Lluvias
Canal Castilla.	
El canal se encuentra a lo largo de la calle 6H dividiendo los barrios Bosque de Castilla y Pio XII en su recorrido este canal recolecta agua lluvias de 6 colectores provenientes de los barrios Pio XII, las dos Avenidas y Bosques de Castilla.	Aguas Lluvias
Colector Calle 7B Bis	
Colector con un diámetro de 12" con aguas residuales ubicado en el costado sur oriental de la zona.	Residuales
Colector Calle 7 A Bis	
Ubicada en el costado oriental del humedal consiste en una tubería de 36" de diámetro que entrega aguas lluvias al Humedal.	Aguas Lluvias
Colector Carrera 81D Bis	
Descarga de aguas residuales de 8" de diámetro	Residuales

Fuente: Caracterización Diagnostica PMA El Burro; Universidad Nacional de Colombia; Bogotá D.C; Octubre 2008.

A continuación se muestran los afluentes al humedal El Burro.

Figura 20. Afluentes al humedal El Burro.



Balance hídrico.

Para el balance hídrico se tomaron datos de vertimientos de agua lluvia con el fin de evaluar el humedal basándose en datos hidrológicos.

Se planteó el balance hídrico basado en la guía internacional de investigación y métodos dada por la organización UNESCO en el año 1981.

$$P + Q3 + Q4 - Q1 - Q2 + Q5 - E - \Delta M = 0 \quad (1)$$

Dónde:

P=Precipitación sobre la superficie.

Q1=Caudal Superficial.

Q2= Flujo del Estrato activo se puede descargar en los acuíferos o terrenos adyacentes.

Q3= caudal de entrada en el pantano por ríos y arroyos.

Q4= Caudal de entrada de agua superficial en el pantano por laderas adyacentes, así como la entrada del flujo de agua subterránea por acuíferos colindantes.

Q5= Flujo de infiltración.

E=Evaporación desde la superficie

ΔM = Variación en el almacenamiento de agua en el estrato activo, durante el periodo del balance hídrico.

Se descartó el flujo del estrato activo debido a que el tránsito del agua es muy lento y requiere de un análisis del suelo en el humedal, lo cual se aleja del alcance del proyecto, así mismo se descartó el caudal de entrada de agua superficial por laderas adyacentes.

Considerando lo anterior, la ecuación de balance hídrico del humedal El Burro se puede simplificar de la siguiente manera:

$$P + Q3 - E + Q5 = \Delta M \quad (2)$$

Modelo matemático hidrológico

- Método de media aritmética

Tabla 7. Media aritmética año 2010.

Época de lluvia año 2010			
Estación	Precipitación Anual (mm)	Precipitación Anual (l/m ²)	Precipitación Anual Promedio (l/m ²)
Inem Kenedy	1220,2	1220,2	1176,8
Col H Duran Dusan	1133,4	1133,4	

Tabla 8. Media aritmética año 2012.

Época de estiaje año 2012			
Estación	Precipitación Anual (mm)	Precipitación Anual (l/m ²)	Precipitación anual Promedio (l/m ²)
Inem Kenedy	709	709	737,5
Col H Duran Dusan	766	766	

- Precipitación sobre el espejo de agua.

Tabla 9. Aportes precipitación sobre el espejo de agua año 2010.

Época de lluvia año 2010						
Cuerpo	Área (m ²)	Área (ha)	Aporte Anual (L)	Aporte Promedio (L/s)	Coeficiente de Escorrentía	Aporte Promedio (L/s)
Espejo de Agua	28692,13	2,87	33764898,6	1,07067791	1	1,07067791

Tabla 10. Aportes precipitación sobre el espejo de agua año 2012.

Época de estiaje año 2012						
Cuerpo	Área (m ²)	Área (ha)	Aporte Anual (L)	Aporte (L/s)	Coeficiente de Escorrentía	Aporte Promedio (L/s)
Espejo de Agua	28692,13	2,87	21160445,9	0,67099334	1	0,67099334

- Q3

Caudal de entrada debida a vertimientos de aguas lluvias por los colectores que ingresan al humedal y el canal Castilla.

Para realizar el cálculo del caudal que ingresa al humedal, se tuvieron en cuenta las áreas aferentes de los colectores y canal Castilla.

Figura 21. Área de influencia en vertimientos de agua lluvia.



Las áreas de influencia se determinaron teniendo en cuenta la caracterización diagnóstica realizada en el PMA del Humedal el Burro⁵ donde se describen las zonas que aportan a los vertimientos de agua lluvia y residual en el humedal.

⁵ Caracterización Diagnostica PMA El Burro; Universidad Nacional de Colombia; Bogotá D.C; Octubre 2008.

Tabla 11. Área de influencia de vertimientos de agua lluvia.

Afluente	Área Aferente (m2)	Área Aferente (ha)
Cruce Avenida Ciudad de Cali	102619,17	10,26
Colector Carrera 81B- Barrio Ciudad Techo II	174791,48	17,48
Colector Avenida carrera 80G	99159,18	9,92
Colector Conjunto Agrupación Pio XII	63218,12	6,32
Canal Castilla.	1113525,48	111,35
Colector Calle 7 A Bis	50917,88	5,09

Fuente: Autores, mediciones realizadas mediante la aplicación del software ArcGis.

Con el propósito de emplear un modelo de lluvia-escorrentía, y considerando que las áreas aferentes a los colectores son menores a 300ha (Jiménez, 2005) se sugiere el método racional expresado como:

$$Q = C * I * A \quad (3)$$

Dónde:

Q = Caudal superficial (L/s)

C = Coeficiente de escorrentía (adimensional)

I = Intensidad promedio de la lluvia

A = Área de drenaje (m2)

En cuanto a la elección del coeficiente de escorrentía, se tuvo en cuenta la tabla 16.5 correspondiente a coeficientes de escorrentía típicos en el libro Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados de Ricardo López Cualla, en el capítulo 16- Alcantarillado pluvial (López, 2003).

Teniendo en cuenta el tipo de superficie presente en el humedal, se tomaron coeficientes de 0.75, el cual corresponde a desarrollos residenciales multifamiliares con bloques contiguos y zonas duras entre ellos y 0.30 el cual se refiere a laderas protegidas de vegetación (Ver tabla 12).

Tabla 12. Coeficientes de escorrentía típicos.

Tabla 16.5 Coeficientes de escorrentía típicos	
Tipo de superficie	Coeficiente
– Zonas comerciales	0,90
– Desarrollos residenciales con casas contiguas y predominio de zonas duras	0,75
– Desarrollos residenciales multifamiliares con bloques contiguos y zonas duras entre ellos	0,75
– Desarrollo residencial unifamiliar con casas contiguas y predominio de jardines	0,55
– Desarrollo residencial con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados	0,45
– Áreas residenciales con predominio de zonas verdes y cementerios tipo jardines	0,30
– Laderas desprovistas de vegetación	0,60
– Laderas protegidas con vegetación	0,30

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Alcantarillado pluvial. 2 Ed. Bogotá D.C.: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003. 429 p. ISBN 958-8060-36-2.

Teniendo en cuenta la precipitación promedio anual (ver tabla 7 y 8) se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 13. Aportes época de lluvia año 2010.

Época de lluvia año 2010						
Afluente	Área Aferente (m2)	Área Aferente (ha)	Aporte Anual (L)	Aporte (L/s)	Coeficiente de Escorrentía	Tasa de Aporte Promedio Anual (L/s)
Cruce Avenida Ciudad de Cali	102619,17	10,26	120762237	3,8293454	0,75	2,87200905
Colector Carrera 81B-Barrio Ciudad Techo II	174791,48	17,48	205694619	6,52253357	0,75	4,89190017
Colector Avenida carrera 80G	99159,18	9,92	116690518	3,70023206	0,75	2,77517405
Colector Conjunto Agrupación Pío XII	63218,12	6,32	74395082,3	2,35905259	0,75	1,76928944
Canal Castilla.	1113525,48	111,35	1310396790	41,5524096	0,75	31,1643072
Colector Calle 7 A Bis	50917,88	5,09	59920155,9	1,90005568	0,75	1,42504176
						44,8977217

Tabla 14. Aportes época de estiaje año 2012.

Época de estiaje año 2012						
Afluente	Área Aferente (m2)	Área Aferente (ha)	Aporte Anual (L)	Aporte (L/s)	Coefficiente de Escorrentía	Tasa de Aporte promedio anual (L/s)
Cruce Avenida Ciudad de Cali	102619,17	10,26	75681636,3	2,39984894	0,75	1,79988671
Colector Carrera 81B- Barrio Ciudad Techo II	174791,48	17,48	128908720	4,08766868	0,75	3,06575151
Colector Avenida carrera 80G	99159,18	9,92	73129892,3	2,31893367	0,75	1,73920025
Colector Conjunto Agrupación Pío XII	63218,12	6,32	46623362,7	1,47841713	0,75	1,10881285
Canal Castilla.	1113525,48	111,35	821225045	26,0408753	0,75	19,5306565
Colector Calle 7 A Bis	50917,88	5,09	37551933,2	1,19076399	0,75	0,89307299
						28,1373808

- **Evaporación**

Dados los datos suministrados por el IDEAM, se consideró oportuno el método de balance de energía planteado por Ven te Chow en su texto Hidrología Aplicada capítulo 3- Agua Atmosférica, el cual desarrolla las ecuaciones de continuidad y energía aplicables a la evaporación (Chow, 1994).

Tabla 15. Valores medios mensuales de temperatura (°c).

VALORES MEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA (°C)															SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL	
FECHA DE PROCESO : 2016/03/02					TIPO EST CO		DEPTO BOGOTA D.C.		ESTACION : 21206560 INEM KENNEDY							
LATITUD 0439 N					ENTIDAD 01 IDEAM		MUNICIPIO BOGOTA		FECHA-INSTALACION 1998-JUL							
LONGITUD 7408 W					REGIONAL 11 BOGOTA		CORRIENTE BOGOTA		FECHA-SUSPENSION							
ELEVACION 2580 m.s.n.m																

AÑO	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL	

1998	1	01														
1999	1	01	15.0 3	15.0 3	14.7 3	15.1 3	15.2 3	14.7 3	*	*	*	13.9 3	*	*	14.8 3	
2000	1	01	*	14.9 3	15.1 3	*	15.7 3	15.9 3	14.7 3	15.0 3	14.4 3	15.0 3	*	*	15.1 3	
2001	1	01	*	15.2 3	15.3	15.8 3	15.7 3	15.0 3	15.3 3	15.4 3	15.2 3	15.8 3	15.5 3	15.9	15.5 3	
2002	1	01	15.6	16.2 3	15.5	15.4 3	15.8 3	15.5 3	15.9 3	15.6 3	15.5	15.7 3	15.1 3	16.1 3	15.7 3	
2003	1	01	16.3 3	16.3 3	15.7	15.9 3	16.5 3	15.4 3	15.6 3	15.5 3	15.4 3	15.6 3	15.1 3	15.8 3	15.8 3	
2004	1	01	*	16.1 3	14.4 3	15.7 3	*	*	15.1 3	*	14.6 3	15.1 3	14.5 3	15.1	15.1 3	
2005	1	01	14.9 3	15.8 3	15.8 3	16.0 3	*	*	15.6 3	15.3 3	*	*	*	*	15.6 3	
2006	1	01	15.0 3	*	*	*	*	15.5 3	*	*	*	*	*	*	15.3 3	
2007	1	01	*	15.2 3	*	*	*	15.5 3	*	*	*	*	*	*	15.5 3	
2008	1	01	*	15.2 3	*	*	*	*	*	*	*	15.5	*	*	15.4 3	
2009	1	01	15.2	15.2	15.4 3	15.5 3	15.9 3	15.4 3	15.0	15.8	15.4	15.4	15.7	15.5	15.5 3	
2010	1	01	16.1	16.2	16.6	15.8	16.0	15.5 3	14.9	14.8	14.7 3	15.2	14.5	14.4	15.4 3	
2011	1	01	14.9	14.8	14.7	14.9	15.0 3	15.7 3	14.8 3	15.1 3	15.1	14.7 3	14.6	15.2 3	15.0 3	
2012	1	01	15.0	14.7 3											14.9 3	
2013	1	01				16.2									16.2 3	
2014	1	01	15.5	15.8	15.5	16.1	15.8	15.6	15.8	15.2	15.6	15.5	15.4	15.5	15.6 3	
2015	1	01	15.4	15.7	16.0	16.2	16.4	15.6							15.9 3	
MEDIOS			15.4	15.5	15.5	15.6	15.8	15.5	15.3	15.2	15.2	15.2	15.0	15.4	15.4	
MAXIMOS			16.3	16.3	16.6	16.2	16.5	15.9	15.9	15.6	15.8	15.8	15.5	16.1	16.6	
MINIMOS			14.9	14.7	14.7	14.4	15.0	14.7	14.7	14.8	14.4	13.9	14.5	14.4	13.9a	

Tabla 16. Valores medios mensuales de temperatura (°C)

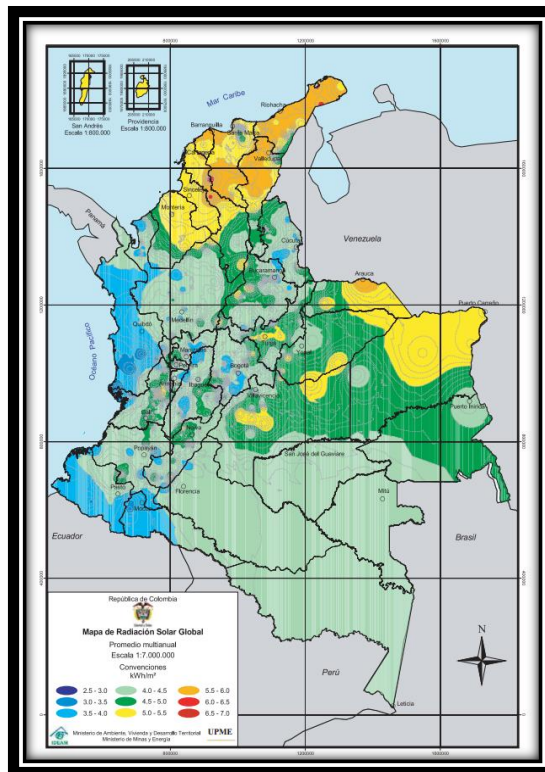
VALORES MEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA (°C)															SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL	
FECHA DE PROCESO : 2016/03/02							ESTACION : 21206620 COL H DURAN DUSAN									
LATITUD 0438 N			TIPO EST		CO		DEPTO		BOGOTA D.C.		FECHA-INSTALACION 2001-NOV					
LONGITUD 7410 W			ENTIDAD		01 IDEAM		MUNICIPIO		BOGOTA		FECHA-SUSPENSION					
ELEVACION 2562 m.s.n.m			REGIONAL		11 BOGOTA		CORRIENTE		BOGOTA							

A#O EST ENT ENERO * FEBRE * MARZO * ABRIL * MAYO * JUNIO * JULIO * AGOST * SEPTI * OCTUB * NOVIE * DICIE * VR ANUAL *																

2002	1	01												15.4 3	*	15.4 3
2003	1	01	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
2004	1	01									14.9 3	14.9	14.8	*		14.9 3
2005	1	01		*		15.6 3	*				15.0 3					15.3 3
2006	1	01			*	*	*	*	*	15.1 3	*	*	*	*	*	15.1 3
2007	1	01		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
2008	1	01	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
2009	1	01			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
2010	1	01														
2011	1	01	15.0 3	15.0 3	*	15.2 3	15.9 3	15.5 3	14.3 3	14.4 3	14.3 3	14.5 3	15.6 3	15.7 3	16.2 3	15.8 3
2012	1	01	*	*	16.1 3	16.3 3	15.3 3	15.5 3	15.2 3	15.2 3	15.2 3	15.2 3	15.5 3	15.6 3	15.7 3	15.3 3
2013	1	01	15.8 3	15.8 3	16.7 3	16.6	16.4	16.1 3	*	14.8 3	14.9 3	15.5 3	15.7 3	15.6 3	15.4 3	15.5 3
2014	1	01	15.2 3	15.7	15.8 3	16.1				15.3 3	15.4	15.5 3	15.6	15.4 3		15.9 3
																15.7 3
MEDIOS			15.3	15.5	16.2	16.0	15.9	15.7	14.8	15.0	15.1	15.2	15.3	15.5		15.4
MAXIMOS			15.8	15.8	16.7	16.6	16.4	16.1	15.2	15.3	15.7	15.6	15.7	16.2		16.7
MINIMOS			15.0	15.0	15.8	15.2	15.3	15.5	14.3	14.4	14.3	14.5	14.2	14.5		14.2s

Fuente: IDEAM, Datos Valores de Temperatura mensuales. Estación Col H Duran Dusan. Fecha de consulta Marzo1 2016.

Figura 22. Mapa de radiación solar global. Promedio multianual.



Fuente: IDEAM, Mapa de Radiación Solar Promedio Multi Anual, Consulta en Línea [http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21129/2-+Radiaci%C3%B3n+Solar.pdf/1750468d-89bb-46ee-8f20-404433add2a8]. Fecha de Consulta: Marzo 2 de 2016.

Se utilizó el método de balance de energía, con el que se pretendió calcular la tasa de evaporación desde una superficie abierta de agua, si la radicación para Bogotá según el mapa 13 es de 4 kWh/m² es decir 166.6 W/m² y la temperatura del aire se muestra en la tabla 17 y 18.

Tabla 17. Temperatura promedio época de lluvia.

Época de lluvia año 2010		
Estación	Temperatura Anual (°C)	Temperatura Promedio Anual (°C)
Inem Kenedy	15,4	14,9
Col H Duran Dusan	14,4	

Tabla 18. Temperatura promedio época de estiaje.

Época de estiaje año 2012		
Estación	Temperatura Anual (°C)	Temperatura promedio Anual (°C)
Inem Kenedy	14,9	15,2
Col H Duran Dusan	15,5	

El calor latente de vaporación l_v varía ligeramente con la temperatura de acuerdo con (Chow,1994):

$$l_v = 2500 - 2.36(T^{\circ}c) = \text{kJ/kg} \quad (4)$$

A partir del calor latente de vaporación a 14,9°C y 15.2°C

$$l_v = 2500 - 2.36(14.9) = 2464,84 \text{ kJ/kg}$$

$$l_v = 2500 - 2.36(15.2) = 2464,12 \text{ kJ/kg}$$

Teniendo en cuenta la densidad del agua $\rho_w = 997 \text{ kg/m}^3$, y teniendo en cuenta la ecuación (Chow, 1994):

$$E_r = \frac{R_n}{l_v \rho_w} \quad (5)$$

$$E_r = \frac{166.6}{2464.84 * 10^3 * 997}$$

$$E_r = 6.78 * 10^{-8} \text{ m/s}$$

$$E_r = 6.78 * 10^{-8} * 1000 * 86400 \text{ mm/día}$$

$$E_r = 5.86 \text{ mm/día}$$

$$E_r = \frac{R_n}{l_v \rho_w}$$

$$E_r = \frac{166.6}{2464.12 * 10^3 * 997}$$

$$E_r = 6.78 * 10^{-8} \text{ m/s}$$

$$E_r = 6.78 * 10^{-8} * 1000 * 86400 \text{ mm/día}$$

$$E_r = 5.86 \text{ mm/día}$$

Tabla 19. Tasa de evaporación en el humedal.

Tiempo	E(mm/día)	E (L/m2s)	Área espejo de agua (m2)	Tasa de Evaporación Promedio Anual (L/s)
Húmedo	5,86	6,78E-05	28692,13	1,95
Seco	5,86	6,78E-05	28692,13	1,95

- Q5

Flujo de infiltración correspondiente a la zona verde aledaña al espejo de agua.

Figura 23. Zona verde aledaña al humedal.



Tabla 20. Aportes por escorrentía año 2010.

Época de lluvia año 2010						
Afluente	Área Aferente (m2)	Área Aferente (ha)	Aporte Anual (L)	Aporte (L/s)	Coefficiente de Escorrentía	Aporte (L/s)
Espejo de Agua	117974,28	11,80	138832133	4,40233805	0,3	1,32070141

Tabla 21. Aportes por escorrentía año 2012.

Época de estiaje año 2012						
Afluente	Área Aferente (m2)	Área Aferente (ha)	Aporte Anual (L)	Aporte (L/s)	Coefficiente de Escorrentía	Aporte (L/s)
Espejo de Agua	117974,28	11,80	87006031,5	2,75894316	0,3	0,82768295

- **Balance hídrico**

Considerando la ecuación 2 que corresponde al balance hídrico propuesto para el humedal, se tuvieron los siguientes resultados.

Tabla 22. Resultados balance hídrico.

L/s	Q5 (L/s)	E (L/s)	Q3 (L/s)	P (L/s)	ΔM (L/s)
2010	1,32	1,95	44,89	1,07	45,33
2012	0,83	1,95	28,13	0,67	27,68

Considerando los resultados presentados en la tabla anterior, se puede apreciar que en los años 2010 y 2012 el valor de la variación del almacenamiento presento un valor positivo, en este caso sería posible afirmar que el humedal no presenta un déficit hidrológico. Aunque se considera la posibilidad de llevar a cabo un estudio más detallado de las variables relacionadas con el balance hídrico para posteriores proyectos.

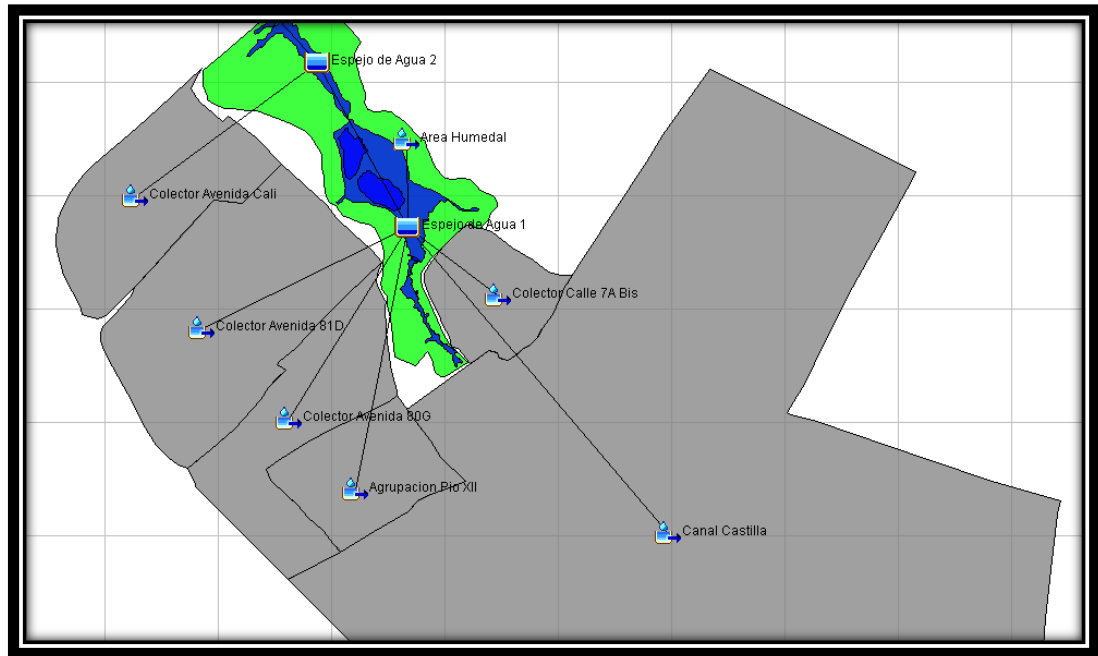
Considerando las funciones hidrológicas del humedal, también se debe tener en cuenta que este retiene agua y la almacena a largo y corto plazo. Así mismo, recibe afluentes externos como ya se ha dicho anteriormente comprendidos de aguas lluvias y aguas residuales, lo que implica que presente niveles de agua permanentes.

Modelo Computacional Hidrológico (HEC-HMS)

Dada la configuración de los sectores que rodean el humedal se diferencian las áreas de escorrentía que ingresa por medio de colectores al Humedal y aquella escorrentía debida a la precipitación sobre el área legal del humedal cubierta por vegetación.

Dado el origen del programa se utilizó la metodología empírica dada por el departamento de agricultura del EEUU en donde se calcula la infiltración por el método SCS, esta metodología es empírica basada en observaciones de experimentos en más de 1000 cuencas en la década de 1950.

Figura 24. Modelo de cuenca del humedal El Burro.



Fuente: Autores por medio del software HEC-HMS.

Para caracterizar el tiempo de retardo en los colectores se consideró la distancia medida desde el vertimiento y su opuesto en la respectiva área de Influencia. Además la pendiente medida desde la herramienta Google Earth.

Ya que mediante la herramienta Google earth se obtienen los datos de longitud y pendiente, el procedimiento matemático que se acopla a estos datos es el dado en la fórmula propuesta por Rouse (Chow,1994).

$$Tc = 0,025 * \left(\frac{L}{(S)^{\frac{1}{2}}} \right)^{0,77} \quad (6)$$

Dónde:

Tc: Tiempo de Retardo.
L: Longitud del Tramo.
S: Pendiente

Figura 25. Longitud y pendiente medidas por Google Earth.



Fuente: Imagen modificada del software Google Earth.

Los datos de porcentaje de impermeabilidad y número de curva corresponden a valores teóricos dados por el departamento de agricultura de estados unidos, los valores empleados corresponden a sectores residenciales menores con lotes pequeños con calles pavimentadas (United States Departament of agricultura, 1986).

Debido a los requerimientos del software, es necesario considerar datos de precipitación diarios, debido a esto se usaron los datos suministrados por la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá. Se analizó el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 a 5 de septiembre de 2015, ya que es el periodo en el que se tienen datos continuos.

Tabla 23. Parámetros requeridos por el método SCS.

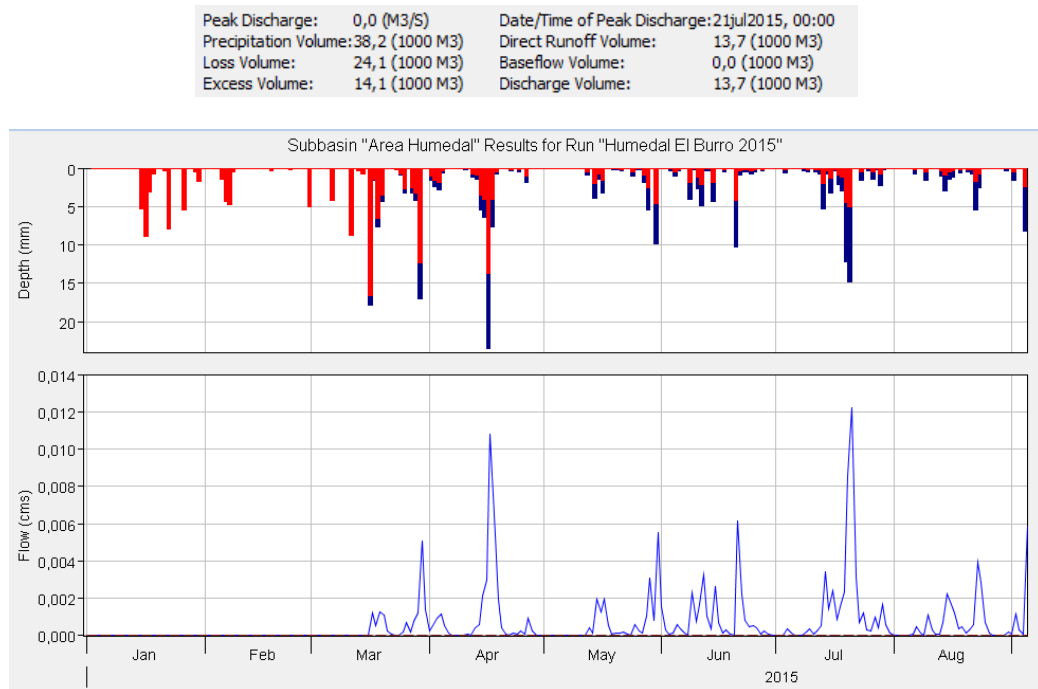
Sub Cuenca	%Impermeabilidad	Nº Curva	Pendiente %	Longitud Tramo	Tiempo de Retardo (Min)
Canal Castilla	65	90	9,7	1040	12,92
Colector Avenida 81D	65	90	2,7	529	12,56
Colector Avenida 80G	65	90	1,6	630	17,57
Agrupación Pio XII	65	90	2,5	225	6,70
Colector Calle 7A Bis	65	90	0,4	257	15,02
Área Humedal	0	45	0	0	0,00
Colector Avenida Cali	65	90	0,9	404	15,58

Tabla 24. Resultados aportes volumétricos en el humedal El Burro. Año 2015.

Hydrologic Element	Peak Discharge (M3/S)	Volume (1000 M3)
Canal Castilla	0.243	342.6
Colector Avenida 81D	0.038	53.8
Area Humedal	0.012	13.7
Colector Avenida 80G	0.022	30.5
Agrupacion Pio XII	0.014	19.5
Colector Calle 7A Bis	0.011	15.7
Espejo de Agua 1	0.339	475.7
Colector Avenida Cali	0.022	31.6
Espejo de Agua 2	0.361	507.3
Vertedero de Salida	0.361	507.3

El Software Hec-Hms está en capacidad de ilustrar la precipitación pérdida en cada sector de la cuenca.

Figura 26. Precipitación y pérdidas sobre la vegetación del humedal El Burro(Hec-Hms).



En la figura anterior se puede observar un hietograma en el cual las barras azules representan la precipitación efectiva y las de color rojo representan la fracción de lluvia perdida por interceptación. El hidrograma en la parte inferior representa la escorrentía directa.

Debido a que la escala de tiempo es diaria no se puede observar el proceso de precipitación, retención y escurrimiento. Para observar de mejor manera este fenómeno es necesario tener datos con escala de tiempo horaria.

Figura 27. Precipitación y pérdida área aferente Canal Castilla.

Peak Discharge:	0,2 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:	17abr2015, 00:00
Precipitation Volume:	360,7 (1000 M3)	Direct Runoff Volume:	342,6 (1000 M3)
Loss Volume:	12,3 (1000 M3)	Baseflow Volume:	0,0 (1000 M3)
Excess Volume:	348,4 (1000 M3)	Discharge Volume:	342,6 (1000 M3)

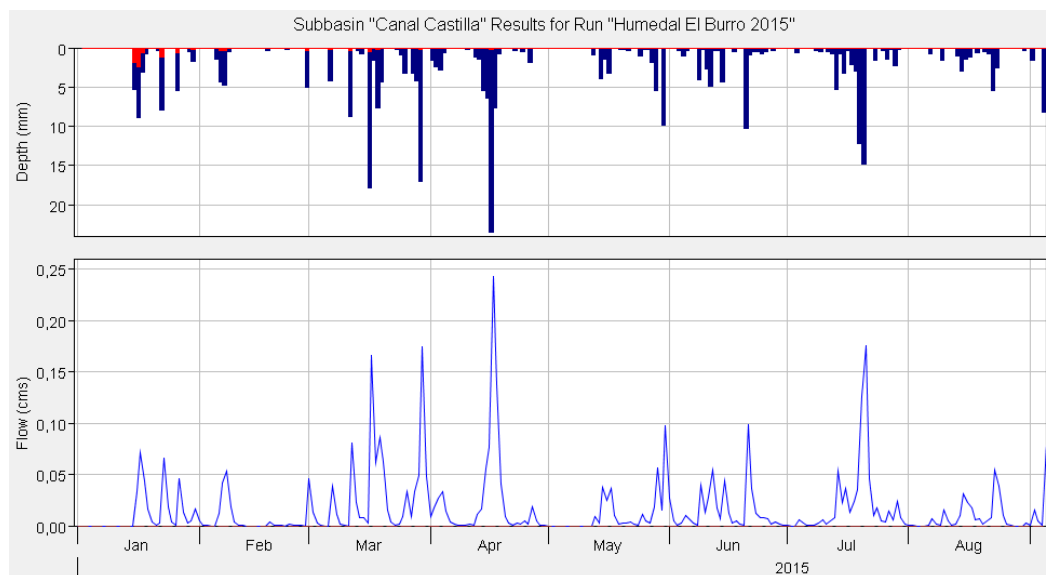


Figura 28. Precipitación y perdidas en Colector Agrupación Pio XII (Hec-HMS)

Peak Discharge:	0,0 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:	17abr2015, 00:00
Precipitation Volume:	20,5 (1000 M3)	Direct Runoff Volume:	19,5 (1000 M3)
Loss Volume:	0,7 (1000 M3)	Baseflow Volume:	0,0 (1000 M3)
Excess Volume:	19,8 (1000 M3)	Discharge Volume:	19,5 (1000 M3)

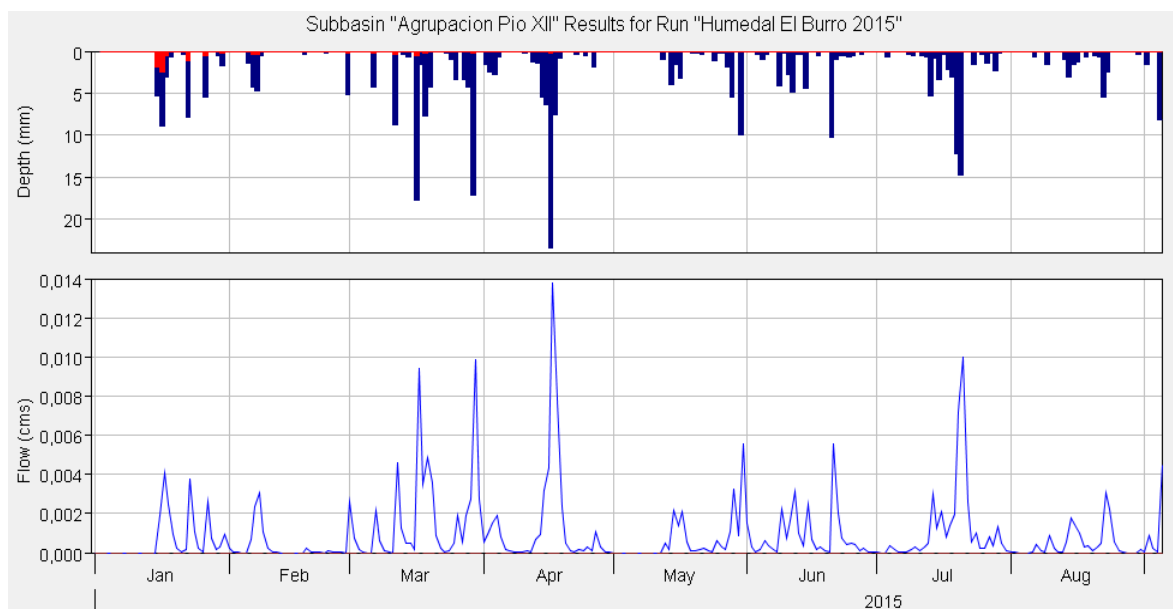


Figura 29. Precipitación y pérdidas en Colector Avenida 80G.

Peak Discharge:	0,0 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:	17abr2015, 00:00
Precipitation Volume:	32,1 (1000 M3)	Direct Runoff Volume:	30,5 (1000 M3)
Loss Volume:	1,1 (1000 M3)	Baseflow Volume:	0,0 (1000 M3)
Excess Volume:	31,0 (1000 M3)	Discharge Volume:	30,5 (1000 M3)

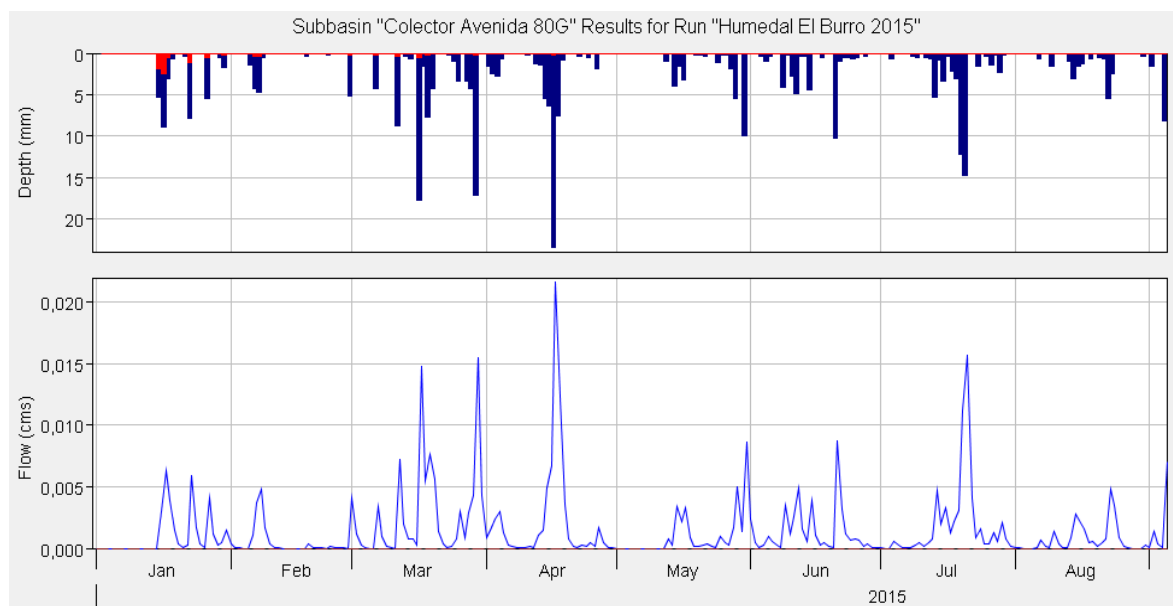


Figura 30. Precipitación y pérdidas Colector Avenida 81D.

Peak Discharge:	0,0 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:	17abr2015, 00:00
Precipitation Volume:	56,6 (1000 M3)	Direct Runoff Volume:	53,8 (1000 M3)
Loss Volume:	1,9 (1000 M3)	Baseflow Volume:	0,0 (1000 M3)
Excess Volume:	54,7 (1000 M3)	Discharge Volume:	53,8 (1000 M3)

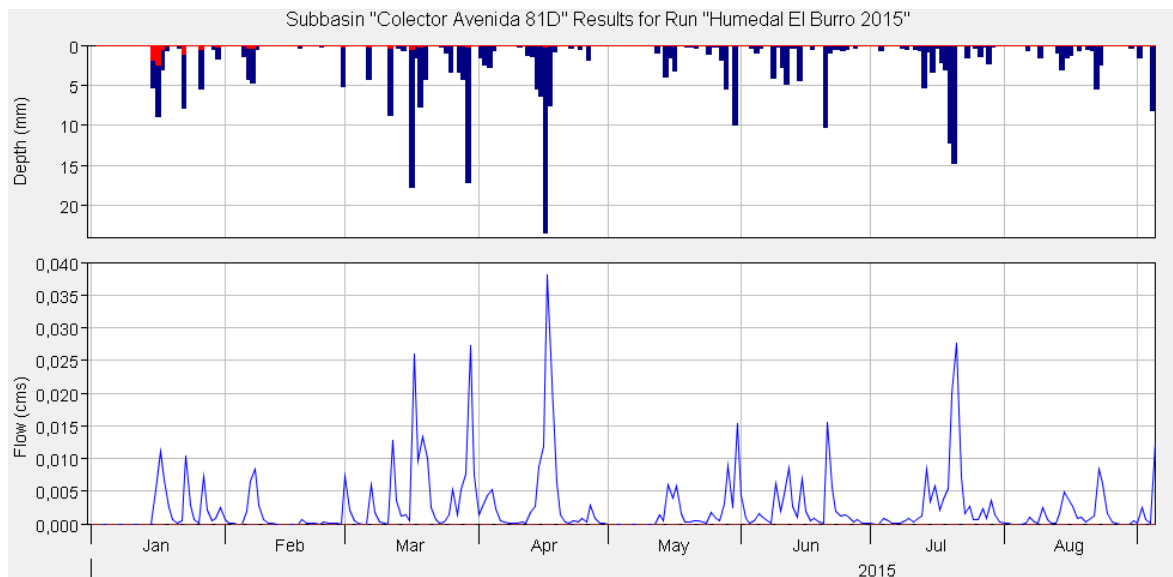


Figura 31. Precipitación y pérdidas Colector Calle 7ª Bis.

Peak Discharge:	0,0 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:	17abr2015, 00:00
Precipitation Volume:	16,5 (1000 M3)	Direct Runoff Volume:	15,7 (1000 M3)
Loss Volume:	0,6 (1000 M3)	Baseflow Volume:	0,0 (1000 M3)
Excess Volume:	15,9 (1000 M3)	Discharge Volume:	15,7 (1000 M3)

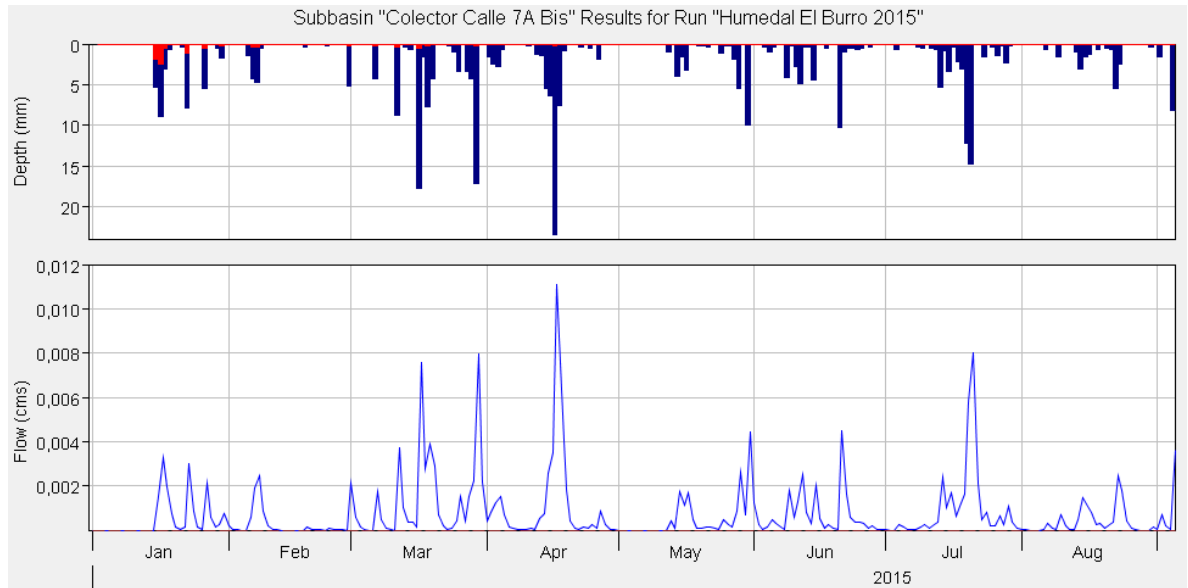
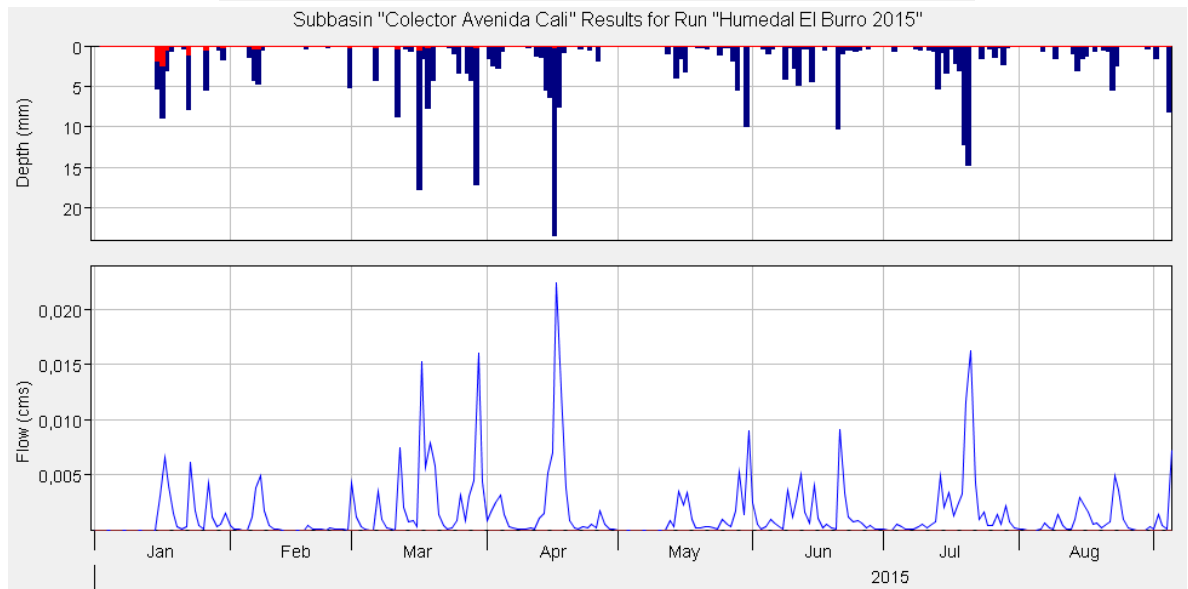


Figura 32. Precipitación y pérdida Colector Avenida Cali.

Peak Discharge:	0,0 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:	17abr2015, 00:00
Precipitation Volume:	33,2 (1000 M3)	Direct Runoff Volume:	31,6 (1000 M3)
Loss Volume:	1,1 (1000 M3)	Baseflow Volume:	0,0 (1000 M3)
Excess Volume:	32,1 (1000 M3)	Discharge Volume:	31,6 (1000 M3)



Es posible apreciar en las figuras 27 a 32 la disminución en las pérdidas debidas a la intercepción, ya que estas áreas cuentan con un número de curva mayor debido a que en el se encuentran zonas residenciales pequeñas con calles pavimentadas.

Modelo hidráulico

Es importante tener en cuenta la modelación hidráulica con el propósito de considerar los cambios de caudal y nivel del agua en el humedal. En general estos procesos se presentan en tres dimensiones pero para aplicaciones prácticas es suficiente utilizar una aproximación unidimensional en la dirección de mayor relevancia que usualmente es longitudinal al canal o la dirección de flujo. La ejecución de este modelo se ejecutará por medio del software Hec-RAS en el que se introducirán datos de entrada y consecuentemente se podría visualizar gráficamente los resultados.⁶

Modelo matemático hidráulico

Teniendo en cuenta que al humedal llegan aportes de aguas residuales domésticas de las edificaciones que se encuentran contiguas (Tabla 6), se consideró que el punto de partida para la cuantificación de este aporte es caudal medio diario, el cual se define como la contribución durante un periodo de 24 horas, obtenida como el promedio durante un año (López, 2003).

El aporte medio diario para cada una de las zonas se puede expresar en función del área servida y sus características como:

$$Q = \frac{CR * C * D * A}{86400} \quad (7)$$

Dónde:

Q = Caudal medio de aguas residuales domésticas, L/s

CR = Coeficiente de retorno

C = Consumo neto de agua potable, L/hab*d

D = Densidad de población de la zona, hab/ha

A = Área de drenaje de la zona, ha

⁶ TycGIS-cursos GIS; Qué es Hec-RAS?; Consulta en línea [http://www.cursosgis.com/index.php/blog-cursosgis/95-que-es-hec-ras-y-para-que-sirve.html] Fecha de consulta 2 de diciembre de 2015.

Para el caso de las aguas residuales domésticas que recibe el humedal y con el propósito de conocer el caudal medio de aguas residuales domésticas, se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

Q = Caudal medio de aguas residuales domésticas, L/s

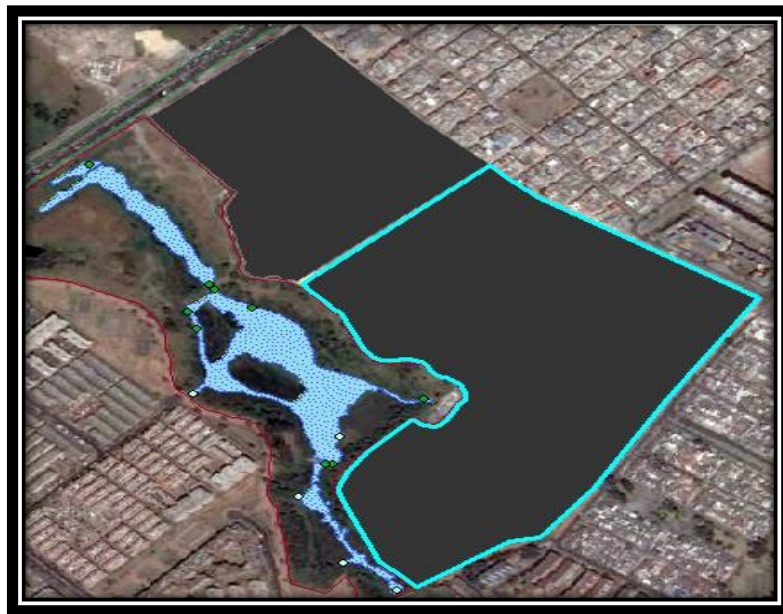
CR = Coeficiente de retorno. Este coeficiente tiene en cuenta el hecho de que no toda el agua consumida dentro del domicilio es devuelta al alcantarillado, en razón de usos como lavado de pisos, cocina y otros. Para la ciudad de Bogotá se adopta un valor de 85%.⁷

C = Consumo neto de agua potable, 72.67 Lhab/día, información extraída de estudio realizado por casa editorial el tiempo.⁸

D = Densidad de población de la zona, 389 hab/ha, Información extraída de página web de la alcaldía local de Kennedy⁹

A = Área de drenaje de la zona, 27.56 ha.

Figura 33. Área de influencia colector Calle 7ª Bis.



$$Q = \frac{0.85 * 72.67 * 389 * 19.09}{86400}$$

⁷ López Cualla, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillado: Alcantarillado sanitario Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.2003.pag 390.ISBN 958-8060-36-2.

⁸ Periódico El Tiempo.4años para salvar el agua de Bogotá. [En línea].<http://www.eltiempo.com/Multimedia/especiales/salvar_agua_bogota/>[Citado el 11 de Marzo de 2016].

⁹ Alcaldía local de Kennedy. Localidad Kennedy. [En línea].<<http://www.kennedy.gov.co/index.php/mi-localidad/conociendo-mi-localidad>> [Citado el 11 de Marzo de 2016].

$$Q = 5.30 \text{ L/s}$$

Figura 34. Área influencia Colector 81D.



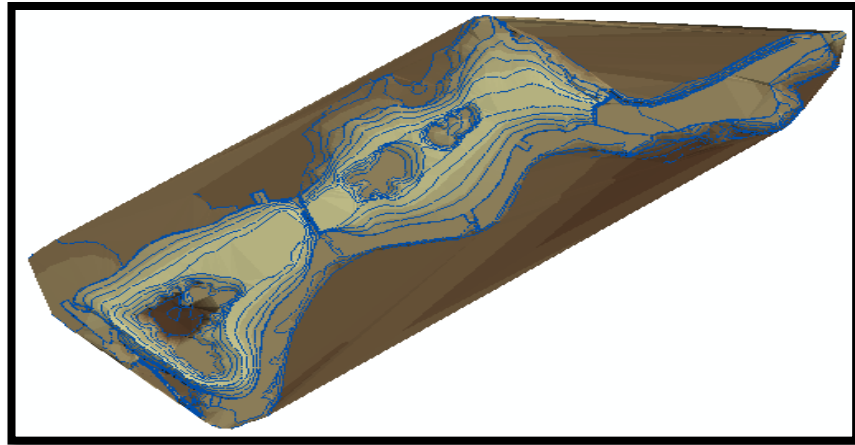
$$Q = \frac{0.85 * 72.67 * 389 * 8.48}{86400}$$

$$Q = 2.35 \text{ L/s}$$

Modelo computacional hidráulico (Hec-Ras).

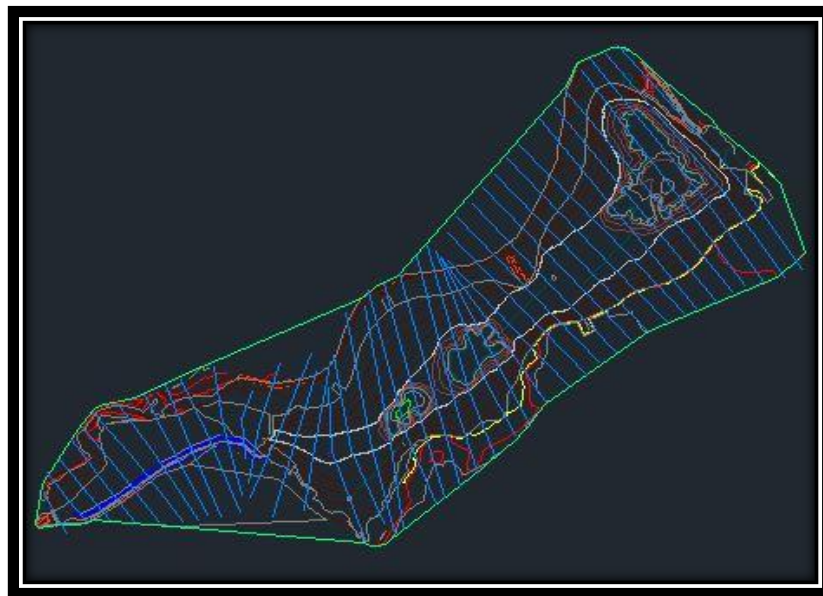
Para realizar la simulación mediante el Software Hec-Ras se tuvo en cuenta la información topográfica suministrada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. A partir de esta información, se creó una superficie con el software Civil3D y ArcGis, de manera tal que se logró identificar la elevación al interior del humedal El Burro.

Figura 35. Superficie en Arcgis.



Para poder suministrar la información topográfica del humedal al software HEC-Ras, fue necesario realizar perfiles para detallar la topografía, para ello se realizaron cortes sobre el eje central del Humedal cada 20 metros y así se pudo exportar la información topográfica.

Figura 36. Secciones generadas a partir de AutocadCivil 3D.

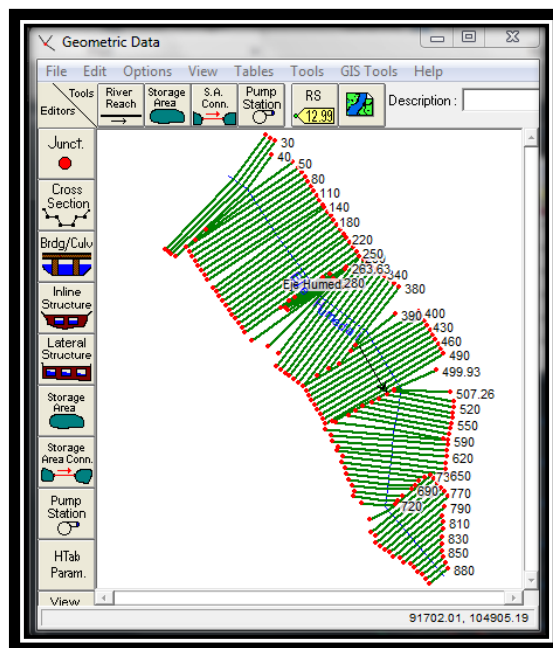


Una vez realizado este paso, se exportó la información a Hec-Ras para iniciar el análisis hidráulico.

Figura 37. Exportar de AutocadCivil 3D a Hec-Ras.

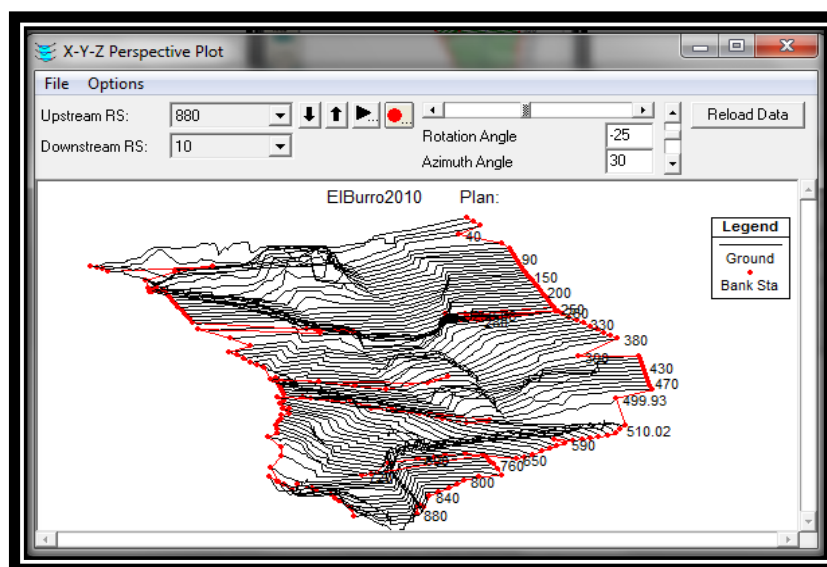


Figura 38. Topografía en Hec-Ras, Vista en planta.



El perfil de velocidad dado por el humedal analiza la superficie creada pero solo ilustra las velocidades correspondientes sobre el eje principal planteado desde Civil3D.

Figura 39. Topografía en Hec-Ras, Vista 3D.



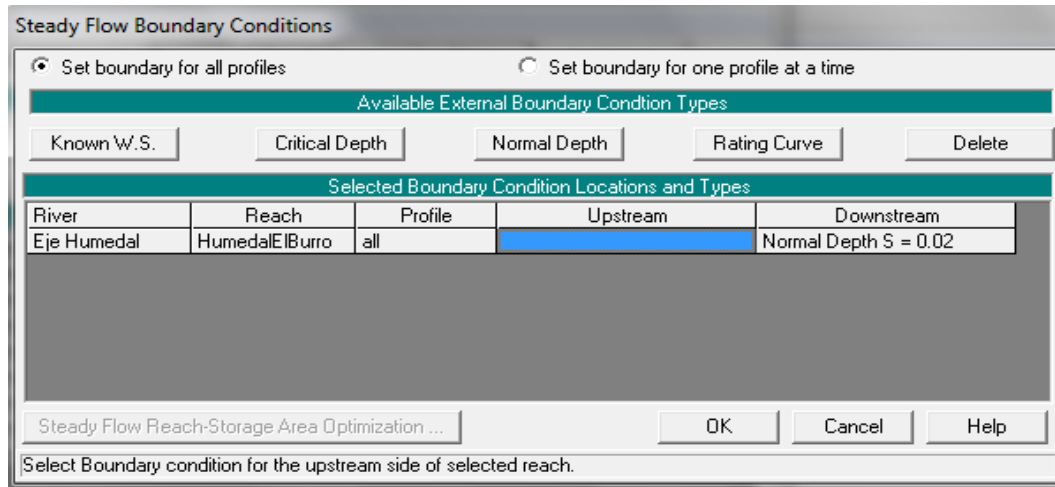
Para proseguir la simulación en Hec-Ras se utilizaron los datos de caudal resultantes dados por el balance hídrico hecho por la ecuación 1 (Balance hídrico para pantanos) en los años 2010 y 2012, además del balance realizado por el software Hec-Hms por medio del método SCS.

Figura 40. Caudales resultantes Balance hídrico.

Afluente	Aporte año 2010 (m3/s)	Aporte año 2012 (m3/s)	Aporte año 2015 (m3/s)
Cruce Avenida Ciudad de Cali	0.0028	0.0019	0.0022
Colector Carrera 81D- Barrio Ciudad Techo II	0.0047	0.0032	0.0038
Colector Avenida carrera 80G	0.0027	0.0018	0.0022
Colector Conjunto Agrupación Pio XII	0.0017	0.0012	0.0014
Canal Castilla.	0.0300	0.0203	0.0243
Colector Calle 7 A Bis	0.0014	0.0009	0.0011
Colector Calle 7B Bis	0.0053	0.0053	0.0053
Colector Carrera 81D Bis	0.0024	0.0024	0.0024

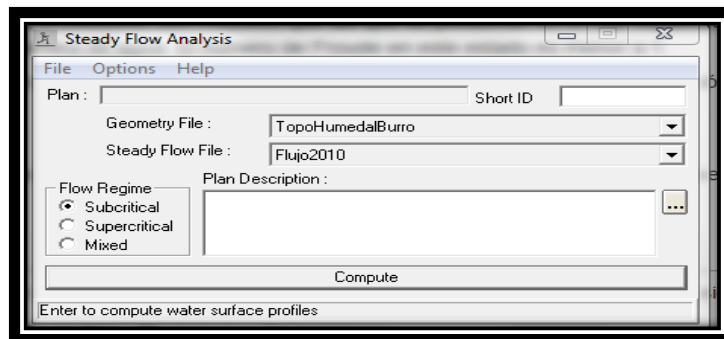
Se introdujeron las condiciones de contorno en las cuales se determinó el comportamiento del modelo en sus límites, en este caso se definió en función de su régimen de flujo previsto.

Figura 41. Condiciones de contorno en Hec-Ras.



Para los datos de condiciones de contorno fue necesario determinar un régimen de cálculo, dado que la pendiente del humedal es baja y se caracteriza por tener explanaciones amplias, se determinó seleccionar un flujo **subcrítico**, ya que describe de mejor manera el flujo del humedal al ser un cuerpo lenticó con velocidad de flujo y pendiente baja.

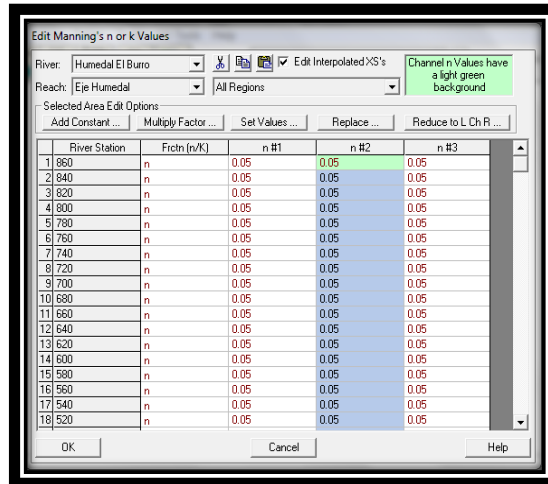
Figura 42. Condiciones de flujo en Hec-Ras.



Es importante tener en cuenta que el Software Hec-Ras realiza el análisis contando con las condiciones del entorno del humedal, para ello fue necesario introducir como dato teórico el número de Manning, para este caso se utilizó el valor sugerido en la tabla 4,8 del libro hidráulica en canales abiertos según Ven T chow (Chow,1994). Utilizando así, el valor para tramos sucios, con pastos y pozos

profundos (0.05), además en las secciones donde el flujo atraviesa un dique se eligió el valor dado para fondos de grava cubierta en mortero (0.02).

Figura 43. Número de Manning en Hec-Ras.



River Station	Frch (n/K)	n #1	n #2	n #3
1 860	n	0.05	0.05	0.05
2 840	n	0.05	0.05	0.05
3 820	n	0.05	0.05	0.05
4 800	n	0.05	0.05	0.05
5 780	n	0.05	0.05	0.05
6 760	n	0.05	0.05	0.05
7 740	n	0.05	0.05	0.05
8 720	n	0.05	0.05	0.05
9 700	n	0.05	0.05	0.05
10 680	n	0.05	0.05	0.05
11 660	n	0.05	0.05	0.05
12 640	n	0.05	0.05	0.05
13 620	n	0.05	0.05	0.05
14 600	n	0.05	0.05	0.05
15 580	n	0.05	0.05	0.05
16 560	n	0.05	0.05	0.05
17 540	n	0.05	0.05	0.05
18 520	n	0.05	0.05	0.05

Dados los escenarios planteados se presentan las gráficas de resultados dadas por el software Hec-Ras.

Figura 44. Perfil de velocidad en el humedal El Burro año 2010.

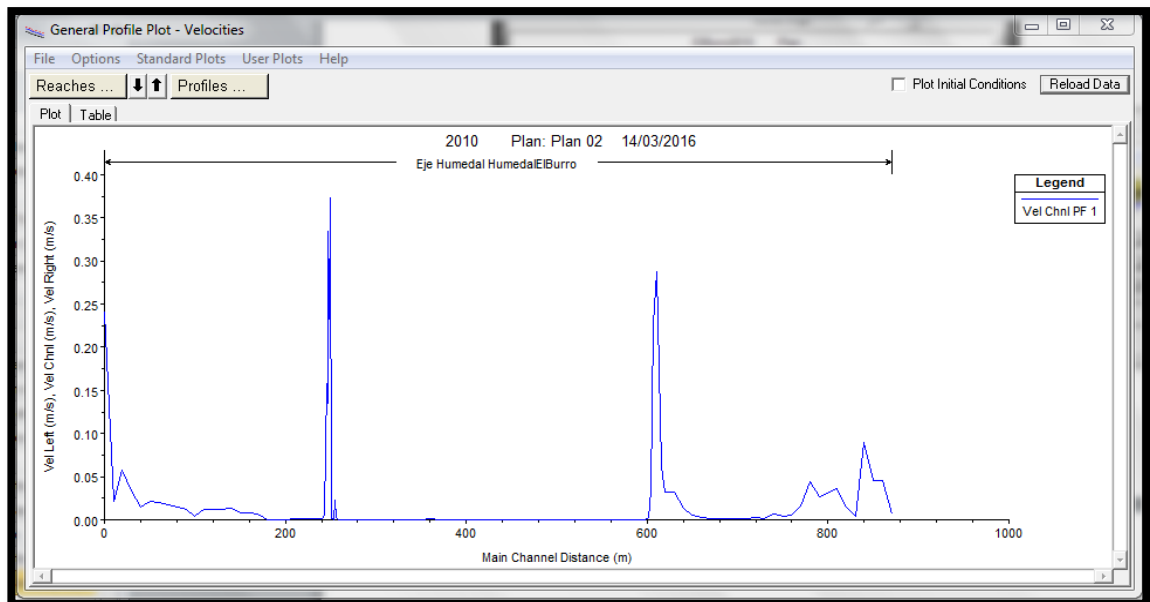
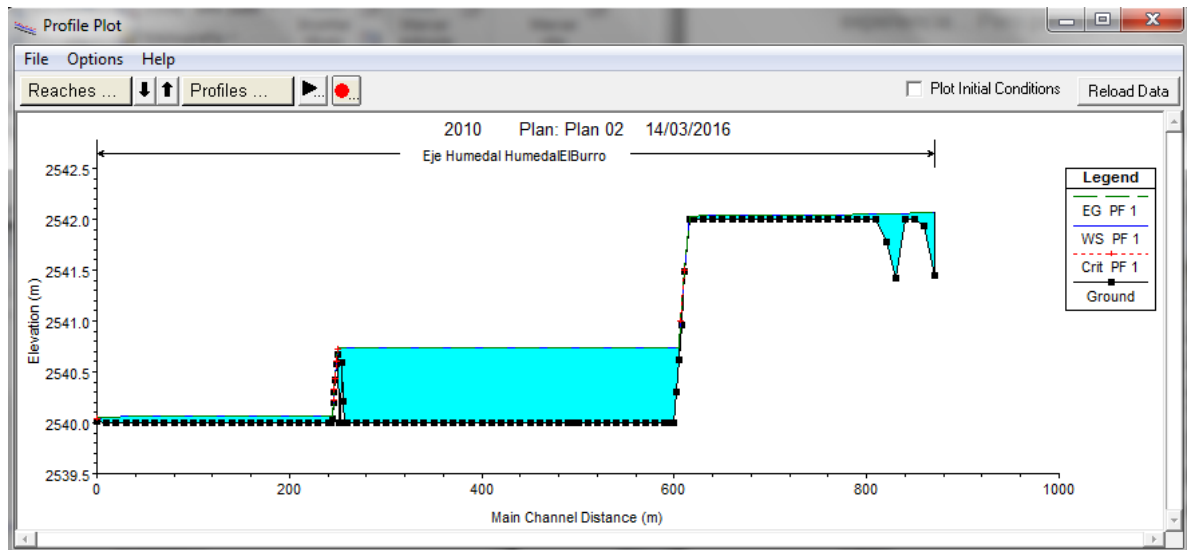


Figura 45. Perfil de flujo en el humedal El Burro año 2010.



En estos gráficos, se puede identificar velocidades correspondientes a cuerpos lenticos en donde se crean depósitos y salidas caracterizadas por vertimientos que permiten el almacenamiento de agua.

Figura 46. Perfil de velocidad en el humedal El Burro año 2012.

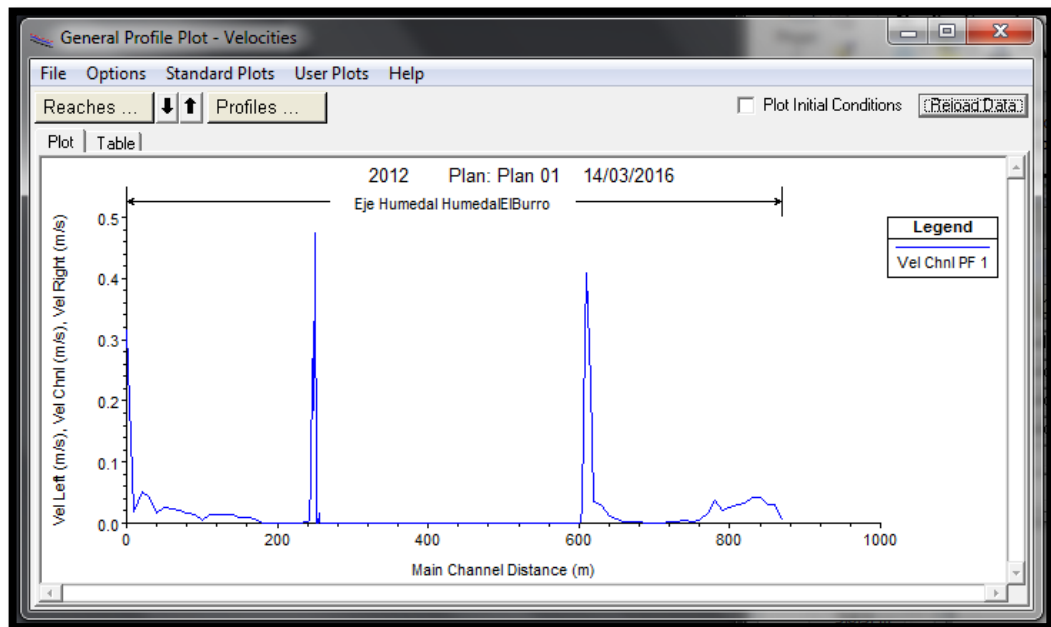


Figura 47. Perfil de flujo en el humedal El Burro año 2012.

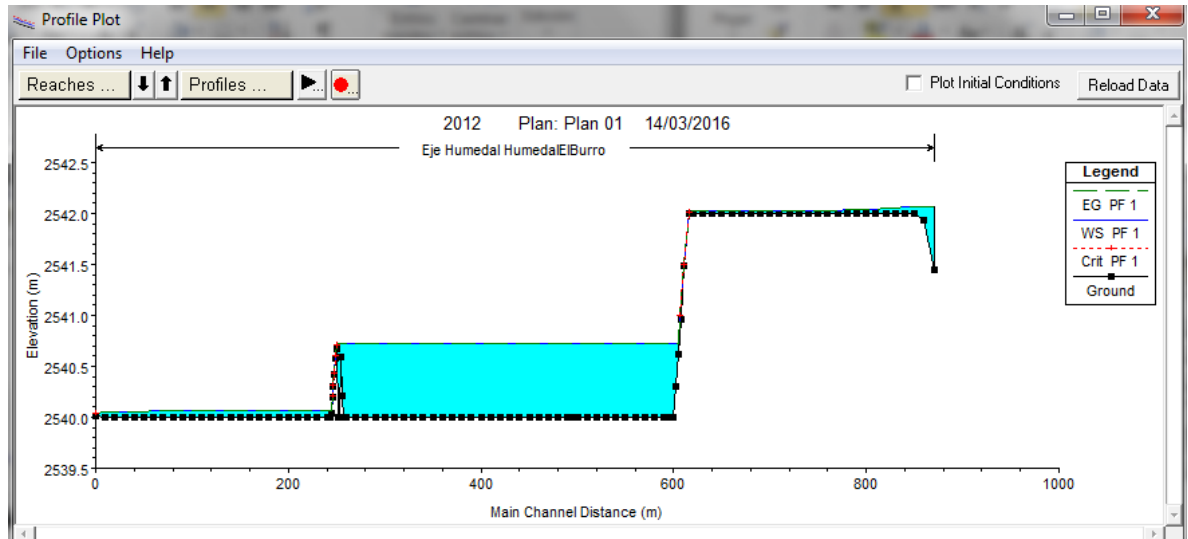


Figura 48. Perfil de velocidad en el humedal El Burro año 2015.

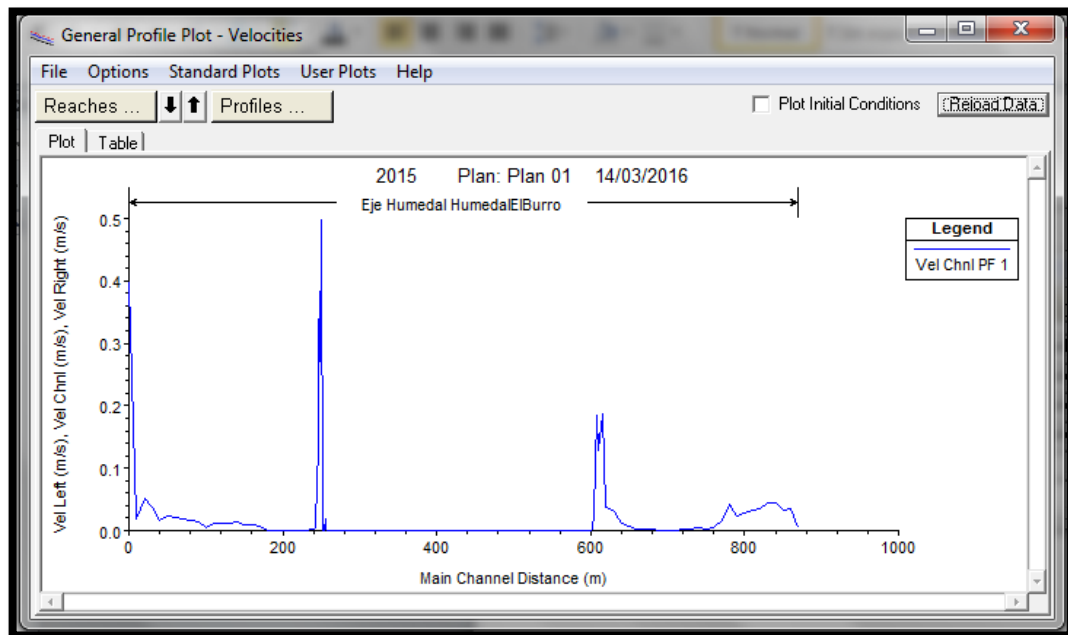
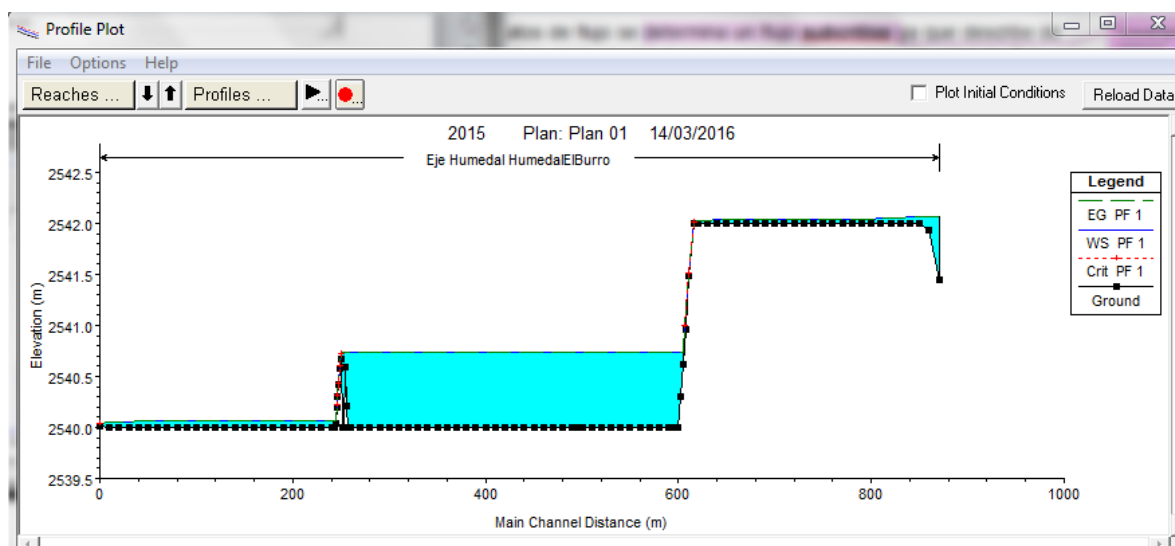


Figura 49. Perfil de flujo en el humedal El Burro.



Representación gráfica calidad del agua en Arcgis.

Se presentan los datos extraídos de las Actas (Anexo A) debidas a la toma de datos del día 30 de octubre de 2015 ya que a percepción de los autores esta toma de datos tiene mayor confiabilidad debido al buen procedimiento en campo y al respeto que se tuvo en la cadena de custodia.

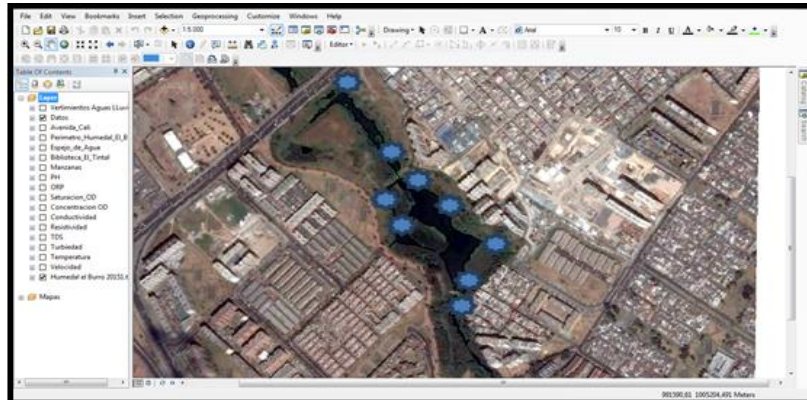
Tabla 25. Muestras 30 Octubre 2015.

Muestras 30 de Octubre de 2015												
Punto	N	E	pH	ORP	%Saturación OD	Concentración OD (ppm)	Conductividad (μS/m)	Resistividad (Ωcm)	TDS (ppm)	Turbiedad (FNU)	Temperatura (°C)	Velocidad (m/s)
1	1005080,36	991887,54	7,19	-40,4	18,5	1,35	516	1946	256	80	16,2	0,1
2	1005052,72	991901,03	6,75	-56,5	10,3	0,75	524	1912	261	164	16,69	0
3	1005319,97	991774,691	7,29	-72,6	19,9	1,45	517	1934	259	94,6	15,47	0
4	1005126,44	991916,449	7,08	-77,4	16,7	1,23	483	2075	241	63,1	15,4	0,2
5	1005116,29	991922,612	7,34	-95,4	12,3	0,89	521	1919	261	40,6	16,54	0,1
6	1004939,04	992169,165	7,27	-75,3	18,4	1,86	703	1422	351	236	15,3	0
7	1005087,71	991965,76	7,46	-45,4	27	2,33	511	1953	256	40,1	16,5	0
8	1004834,48	992060,793	7,46	-45,4	27	2,33	511	1953	256	40,1	16,5	0
9	1004832,55	992060,793	7,24	-128,9	11	0,85	659	1534	324	50,9	16,55	0

Fuente: Autores.

Realizando la digitalización en ArcMap es posible visualizar los puntos en los cuales se realizó la toma de muestras.

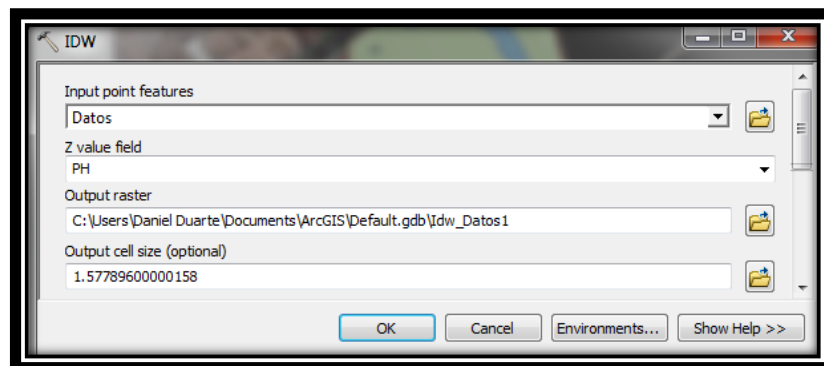
Figura 50. Digitalización de datos ArcMap.



Con el fin de realizar la representación gráfica de los parámetros de calidad de agua tomados en campo se realizó la interpolación con el método IDW basados en el estudio realizado en costa rica por el ministerio de Agricultura y ganadería en el cual se realizó una comparación de métodos de Kriging e IDW para la interpolación de parámetros químicos en el año 2008 (Villatoro , 2008), en donde se sugiere que a pesar de tener más precisión el método de kriging es recomendable utilizar el método IDW cuando se tiene una intensidad de muestreo baja, además cuando el distanciamiento de los puntos tomados es muy grande IDW se perfila como el mejor.

Dada la limitación al acceso del humedal no fue posible realizar una campaña de muestreo optima desde el punto de vista estadístico, sin embargo se presentan los resultados de la interpolación con los datos recolectados a la fecha de muestreo.

Figura 51. Método IDW en ArcGis.



Los resultados de la interpolación se encuentran consignados en los mapas (Anexo B) en los cuales se puede identificar el comportamiento y la distribución de los parámetros de calidad de agua en el espejo de agua del humedal El Burro.

RESULTADOS

En la siguiente se muestra en resumen la información producida durante el proyecto.

Tabla 26. Tabla de resultados producidos.

Información Producida	
Sistemas de información	
Información de tipo espacial.	
Batimetría	Modelo 3d producido mediante software Civil 3D, ArcGis y Hec-Ras.
Geofísico	Modelo producido mediante Software ArcGis. Integrando Uso de Suelo, área de influencia en los vertimientos y localización de vertimientos.
Información de tipo hidrológica.	
Balance Hídrico	Balance hídrico guiados por manual de UNICEF adaptado al humedal El Burro.
Caudal de Vertimientos	Determinado mediante el Método Racional guiados por Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados; Ricardo López Cualla, Capítulo 16. (Año 2010 y 2012)
Caudal de Vertimientos	Simulado mediante modelo en Hec-Hms determinado mediante el método SCS (Año 2015)
Información de tipo hidráulica.	
Perfiles de Velocidad	Simulación de Velocidad a lo largo del Humedal el Burro mediante software Hec-Ras.
Representación Gráfica de Inundación	Modelo 3D de inundación para caudales dados en los años 2010, 2012, 2015.
Caudal de Vertimientos domiciliarios	Vertimientos domiciliarios calculados guiados por Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados; Ricardo López Cualla, Capítulo 15. (Año 2010 y 2012)
Información de Calidad del agua en el Humedal	
Caracterización Calidad del agua	Mapas de Interpolación de calidad de agua en el espejo de agua en el humedal el burro mediante el método de IDW en software ArcGis
Datos de Calidad de Agua	Muestreo de calidad de agua en el humedal el Burro basados en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Ver Actas de muestreo Anexas.)

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios de interacción de agua con el suelo, para determinar las pérdidas por infiltración en el área del humedal, para considerar flujos subterráneos.
- Es necesario realizar un estudio hidrológico con datos de un periodo hidrológico de 10 años, ya que no es posible relacionar temporadas climáticas atípicas en espacios de tiempo reducidos.
- Se recomienda ampliar la cantidad de muestreos en el espejo de agua del humedal, ya que para este trabajo de grado el muestreo se ejecutó en una época atípica de verano intenso, además la campaña de muestreo realizada no representa una confiabilidad estadística alta.
- Se recomienda hacer una revisión de compatibilidad entre Hec-RAS 4.1 y ArcGIS10.3, con el fin de realizar un mapa que represente las velocidades a lo largo del espejo de agua del humedal, dadas las dificultades presentadas en la extracción de información desde Hec-RAS hacia ArcGIS.
- Es necesario tomar mediciones de velocidad, en puntos internos en el espejo de agua para comprobar los resultados dados por la interpolación (Datos en campo) y los perfiles dados por HecRAS (simulación física).

CONCLUSIONES

Conclusiones de carácter hidrológico.

- Considerando los resultados presentados en la tabla 30 del documento, se puede apreciar que el año 2010 y 2012 el valor de la variación del almacenamiento presento un valor positivo, es posible afirmar que el humedal no presentó un déficit hidrológico en esos años.
- Dado que los años que se analizaron fueron años atípicos y la rehabilitación del humedal se realizó hace menos de 10 años, no es posible concluir el tiempo de vida del humedal.
- La retención de agua en el humedal va a garantizar la estabilidad para las diferentes especies endémicas y foráneas que llegan al humedal.
- Es necesario verificar mediante sondeos en campo que los vertimientos debidos a aguas lluvias no contienen aguas negras debidas a conexiones erradas.
- Sería de gran importancia datos de precipitación con escala horaria con el fin de detallar mejor el fenómeno precipitación – retención – escorrentía en el software Hec- Hms.
- Es necesario ampliar la información de precipitación con el fin de obtener curvas IDF que puedan pronosticar la lluvia a los 100 años y obtener los caudales máximos.

Conclusiones de Carácter Hidráulico.

- Los perfiles de velocidad describen claramente un cuerpo de agua lenticó, dado que se evidencian velocidades entre 0 y 0.5m/s, además es posible identificar los puntos en el que el humedal retiene el agua caracterizado por velocidades estáticas.
- En los perfiles de flujo mostrados es posible evidenciar los almacenamientos de agua debidos a la recuperación planteada por la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá.
- Dados los cambios en los aportes hidrológicos en los años 2010,2012 y 2015, no se observó una diferencia en los niveles de almacenamiento del humedal como se puede evidenciar en las figuras 45,47 y 49.
- Las velocidades presentadas por el software HecRAS, concuerdan con las velocidades tomadas en campo debidas al micro molinete y se evidencia la congruencia realizando la comparación entre los perfiles mostrados y el mapa anexo de velocidad.

- Se recomienda para proyectos futuros obtener caudales de abastecimiento crítico tales que se pueda evidenciar en el modelo de Hec-Ras niveles de inundación que puedan la ronda del humedal.

Conclusiones Calidad del Agua.

- Considerando que el Decreto 1584 –Artículo 45 en el cual se tiene en cuenta el uso del agua para la preservación de flora y fauna en aguas dulces, solo son comparables los parámetros de Oxígeno disuelto y pH con los medidos mediante la sonda multi paramétrica.
- Se debe recordar que la turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Es decir que cuantos más sólidos en suspensión presentes en el agua, más alta será la turbidez. Es evidente lo anteriormente dicho, si damos un vistazo a los mapas realizados en ArcGIS, donde se puede observar que la zona donde se presenta una menor turbidez es la dispuesta en el dique o la contracción (construida por parte de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, como parte de la reconfiguración que se le hizo al humedal en el año 2008).
- Considerando los mapas realizados en ArcGIS correspondientes a turbiedad y sólidos totales disueltos TDS. Se puede observar, que los lugares donde se presenta mayor índice de turbiedad y por dependencia de TDS es la zona del colector. Esto se considera que el colector dispone aguas residuales al humedal.
- Como se dijo anteriormente, es consecuente que se presente los rangos de mayor presencia de sólidos disueltos, principalmente en los afluentes de aguas residuales, los cuales se ubican en la parte norte del humedal.
- En cuanto a los afluentes de aguas lluvias, los cuales se encuentran en la parte sur del humedal, los niveles de TDS son aproximadamente 74% menores a los presentados en el lugar donde se evidencia hay más presencia de sólidos disueltos que es el Colector de la calle 7B Bis.
- En cuanto a pH, el Artículo 45 sugiere un rango de 4.5 a 9.0 Unidades de pH de manera tal que se encuentran valores admisibles en el humedal el Burro.
- Teniendo en cuenta el artículo 43, en el cual se dispone al recurso hídrico para fines recreativos mediante contacto secundario se puede decir que el humedal no cumple el valor mínimo para oxígeno disuelto siendo este el 70% de saturación.

- Así mismo, es importante resaltar la presencia de aves en el humedal y considerar que estas pueden ser utilizadas como indicadores biológicos o bioindicadores, ya que pueden verse afectadas por factores presentes en el agua como lo son la salinidad o entre caso el pH (Hernández, 2015).
- Teniendo en cuenta el Decreto 1594 -Artículo 45, en el cual se considera los criterios de calidad admisibles para la preservación de fauna y flora en aguas dulces cálidas, se hacen las siguientes observaciones: En cuanto a pH, el Artículo 45 sugiere un rango de 4.5 a 9.0 Unidades de pH. Es así, se puede observar que los valores de pH medidos en el colector, canal castilla, espejo de agua 1 y espejo de agua 2 se encuentran en el rango que propone el Decreto. De manera que esto podría ratificar el buen funcionamiento del humedal.
- Otro parámetro que se puede comparar del Decreto 1594- Artículo 45 es el oxígeno disuelto. El Decreto recomienda un rango para este parámetro superior a 4.0 ppm. El humedal presentó valores inferiores a 2.3 ppm, de esta manera se podría decir que la turbulencia generada por los vertimientos no es representativa en el proceso de oxigenación.
- Como se dijo anteriormente, la calidad en la que se encuentre el agua del humedal será consecuente con la presencia de especies endémicas y foráneas. Lo cual a su vez ratifica las funciones ecológicas que brinda este cuerpo de agua lenticó.
- La calidad en que se encuentre el agua del humedal es un indicador de la salud ambiental en cuanto al agua y al saneamiento ambiental.

Bibliografía.

- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Documento Humedales de Bogotá.[en línea].<<http://www.bogota.gov.co/guia/interfaz/usuario/anexos/Humedales.doc>> [citado en junio 12 de 2015]
- ANDRADE, Martha. CASTAÑEDA, Henry. Los Humedales de la Sabana de Bogotá: Área Importante para la Conservación de las Aves de Colombia y el Mundo. 2006; [base de datos en línea].2p.[citado 24 de abril de 2016] Disponible en Ambientalex.info.
- BALDOCK, David .Wetland Drainage in Europe. Estado Unidos: Center for International Development,1984. ISBN 0905347528.
- BARRERO, C., 2003. Estructura, composición y distribución de la vegetación del Humedal de Funza y su relación con factores ambientales. Facultad de estudios ambientales y rurales. Trabajo de Grado. Carrera de Ecología. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- CHOW, Ven te. Hidrología aplicada. Agua atmosférica. Edición McGraw-Hill, 1994.82 Pag. ISBN: 0-07-010810-2.
- Fundación Humedal la Conejera; PMA Humedal la Conejera, 2006.
- GARRIDO Eduardo; Manual de Métodos de Estudio y Cuantificación de flujo en Humedales, 2009.
- HERNANDEZ, Santiago. Indicadores de calidad ambiental de humedales. Trabajo de grado Ingeniero ambiental. Manizales: Universidad Católica de Manizales. Facultad de Ingeniería Ambiental. Programa de Ingeniería Ambiental, 2015. 36 p
- Instituto de estudios ambientales IDEA; PMA El Burro; Universidad Nacional de Colombia; Octubre de 2008.
- JIMENEZ Fabio, Modelo de Diseño de Sistemas Urbanos de Alcantarillado Pluvial, Con una Aplicación en MS Excel. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Noviembre de 2005.
- LÓPEZ CUALLA, Ricardo. Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados. Alcantarillado pluvial.2 Ed. Bogotá D.C.: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003.429 p.ISBN 958-8060-36-2.
- Ministerio de ambiente y Desarrollo sostenible. Decreto 1076 del 26 de Mayo de 2015. EN línea [<https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=2093:plantilla-areas-planeacion-y-seguimiento-30#normas-fuente>]. Fecha de Consulta { 16 de mayo de 2016}
- Montealegre, E. (2009). Estudio de la Variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos

de meso y gran escala. Nota Técnica IDEAM, IDEAM -METEO/022-2009, Bogotá D.C

- NACIONES UNIDAS. Recursos hídricos. Desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, 2 ed. 2014.
- NANÍA, Leonardo. Manual básico de Hec-HMS 3.0.0.Universidad de Granada.2007.
- PERIODICO EL TIEMPO. Silva Herrera, Javier. Crean el primer mapa sobre los humedales del país. [enlínea].<http://www.eltiempo.com/estilo-de-vida/ciencia/mapa-de-humedales-en-Colombia/15222937> [Citado el 11 de diciembre de 2015]
- RAMSAR; Manual 13: Inventario, Evaluación y monitoreo; 4 Ed. Cuadro 2 Campos de datos básicos para el inventario de Humedales; 2010.
- RAMSAR; Adoptado por la 12ª reunión de la conferencia de las partes, Punta del Este, Uruguay, resolución 12, 2015
- UNIÓN MUNDIAL PARA LA NATURALEZA. Conservación de Humedales. Un análisis de temas de actualidad y acciones necesarias. Suiza: Edición UICN,1992.
- United States Department of Agriculture; Urban Hydrology for Small Watersheds; technical release 55; June 1986, table 2-2a.
- VARGAS, Dirceu; Descripción de las condiciones Eco hidrológicas actuales de los humedales de la zona norte del municipio de la Dorada-Caldas; EN: ACODAL. Julio de 2013; Vol. 232. Pág. 49 a 60.
- VILLATORO Mario, Henríquez Carlos, Sancho Freddy; Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial del PH, CA, CICE y P del suelo; Ministerio de agricultura y ganadería de Costa Rica; 2008.