CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
CONACYT

PROCIENCIA
PROGRAMA PARAGUAYO PARA EL DESARROLLO DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción

PROGRAMADE INCENTIVOS PARA LA FORMACIÓN DE DOCENTES-INVESTIGADORES-Convocatoria 2018

Nombre del programa de posgrado: Gestión de Riesgos de Desastres y Adaptación al Cambio Climático

Nombre de la Institución: Universidad Católica "Nuestra Señora de la Asunción"

Nombre del beneficiario: Rosa Aseretto

Vinculación docencia, tutoría o centro de investigación: Lic. Julián Báez Benítez

Título de tesis: Análisis de los eventos de inundación del río Paraguay en Asunción, teniendo en cuenta los efectos causados por el cambio de uso/cobertura del suelo. Años de estudio: 2014, 2015-2016 y 2019.

RESUMEN

Se presenta la implementación del Modelo Hidrológico de Grandes Bacias en la zona media del río Paraguay para analizar los eventos de inundación de los años 2014, 2015-2016 y 2019, teniendo en cuenta los efectos causados por los cambios de uso de suelo. El área de estudio comprende desde la cuenca del rio Apa hasta Asunción. Para la implementación del modelo se utilizó mapas de URHs diferentes para el año 2014 y otro para el año 2019; los caudales simulados fueron calibrados con los caudales observados en Asunción, obteniendo buenos resultados, el periodo total de análisis comprende desde el año 1984 hasta el 2019. Teniendo dos casos de análisis, el primer caso se consideró todo el área de estudio deforestada y para el segundo caso se consideró el área cubierto totalmente de cobertura boscosa, con los cuales se generaron varios hidrogramas que dieron como resultado el aumento del caudal máximo al incrementarse la deforestación y la disminución del caudal mínimo, pero al aumentar el área boscosa disminuye el caudal máximo y aumenta el caudal mínimo, que concuerda con estudios realizados en cuencas experimentales en diferentes partes del mundo, expuestas por Bosch y Hewlett (1982), Park & Park (2011) entre otros.

OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar los efectos que genera el cambio de uso/cobertura del suelo sobre el caudal máximo de la cuenca del Río Paraguay en Asunción, para los eventos de inundación, ocurridos en los años: 2014, 2015-2016 y 2019, mediante la modelación hidrológica.

Objetivos Específicos

- Evaluar el comportamiento de los afluentes del río Paraguay para los diferentes cambios/uso del suelo, mediante el modelo hidrológico MGB-IPH y analizar los cambios en las cuencas afluentes en territorio paraguayo.

-Caracterizar la variación del caudal máximo del Río Paraguay en Asunción, debido al cambio de uso del suelo y la variabilidad climática con el modelo hidrológico.

ACTIVIDADES REALIZADAS

Los datos de entrada al modelo son de tipo hidrometeorológicos y espaciales. Los datos utilizados para la preparación de las series de precipitaciones y caudales provienen de la Dirección de Meteorología e Hidrología de la DINAC y de la Agencia Nacional de Aguas del Brasil (ANA), se utilizaron doce estaciones meteorológicas y climatológicas; para el caudal observado se utilizó la estación de Asunción. En cuanto a los datos espaciales, estos comprenden el Modelo Digital de Elevación (MDE) para la discretización de la cuenca y los mapas de tipo y uso del suelo utilizados para la definición de URHs. El modelo digital de elevación es el SRTM 1 disponible en la página de la USGS con una resolución espacial de 90 metros. Que fue discretizado en 47 minicuencas (Figura 1). El mapa de tipo de suelo utilizado fue el creado en el marco del Proyecto de Racionalización del Uso de la Tierra (PRUT) y de la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA), para obtener los tipos de suelo del área de estudio. El Estudio de Suelos de la Región Oriental del Paraguay, cuenta con la descripción de perfiles de suelos, como la capacidad de drenaje, espesor, porcentaje de arena, arcilla y materia orgánica de cada suelo. Las imágenes satelitales utilizadas para la creación de los mapas de uso de suelo fueron descargados de USGS con una resolución espacial de 30 metros, para los años 2014 y 2019, el mapa del año 2014 fue validado hasta el año 2016 por lo que la imagen satelital del año 2014 se utilizó para el análisis de los años 2014, 2015-2016, la imagen satelital del año 2019 se utilizó para el análisis de ese año, las imágenes fueron procesadas en QGis, primero para obtener el área de estudio y luego se realizó el mapa de uso de suelo mediante la clasificación supervisada, obteniendo cuatro clases de uso; Bosque, área agropecuaria, área urbana y agua. Luego los mapas de uso y tipo de suelo se combinan en el preprocesamiento para crear los mapas de Unidades de Respuestas Hidrológicas (URHs).

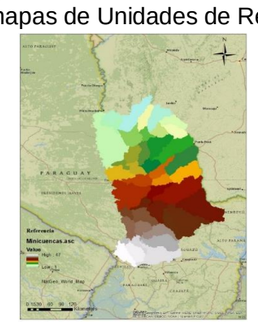

Figura: 1. División en mini cuencas. Fuente: Elaboración propia

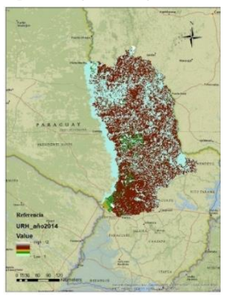

Figura: 2. Mapa de URH del año 2014 Fuente: Elaboración propia.

Descripción del modelo MGB-IPH.

El modelo MGB (Collischonn, et al., 2001) es un modelo distribuido desarrollado para aplicaciones en grandes cuencas por el Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) de Brasil. Divide la cuenca hidrográfica en pequeñas subcuencas, llamadas mini cuencas interconectadas por canales, que a su vez son subdivididas en unidades menores de comportamiento hidrológico idéntico, denominadas Unidades de Respuesta Hidrológica (URH), que son el resultado de la combinación de los distintos tipos de suelo y de la cobertura del suelo que existen dentro de la cuenca. La entrada principal del modelo es la precipitación, una parte de la misma es interceptada por la vegetación y la otra llega al suelo; la precipitación que llega al suelo puede ser infiltrada en la capa superficial del suelo y/o percolada a la capa subsuperficial o subterránea del suelo, pero también puede generar escorrentía superficial que transita internamente en la cuenca mediante el método de reservorios lineales, una vez que llega al río se propaga en la red de drenaje principal, mediante el método de Muskingum-Cunge o por el método Inercial, en este trabajo se optó por el método inercial debido a que considera los eventos de inundación en la simulación. Ambos métodos utilizan las ecuaciones de Saint - Venant, de la forma, media y simplificada.

Parámetros Fijos y Calibrables.

El modelo consta de cuatro parámetros fijos y nueve parámetros calibrables. Los parámetros fijos tienen valores que se pueden medir o que no interfieren en los resultados, como el índice de área foliar, albedo, altura de la vegetación y resistencia superficial, que dependen de la época del año y de la vegetación asociada a cada URH; sus valores pueden obtenerse de la bibliografía, por lo que no pueden ser calibrados. Los parámetros calibrables, son alterados a cada aplicación del modelo, buscando un buen ajuste entre los datos de caudal observados y calculados. Los parámetros calibrables están asociados a las URHs, como: Calibración de la propagación subsuperficial. (Ci) y Calibración de propagación superficial (Cs), Parámetro de drenaje subsuperficial (K_{int}), Caudal durante estiaje (K_{bas}), Capacidad de almacenamiento del suelo (W_m) y Relación entre el almacenamiento y la saturación. (b), en algunas situaciones también son incluidos los parámetros de Parámetro de almacenamiento residual (W_c) y Parámetro de retardo del reservorio subterráneo (TK_B).

RESULTADOS

Primeramente, se calibró el modelo y luego se realizó un análisis de sensibilidad del modelo MGB-IPH a los cambios del uso/cobertura del suelo, por lo que el área de estudio totalmente deforestada (se denominó **caso 1**), y para cada URH se asignaron los valores mínimos aceptados por el modelo. Para la segunda variación se consideró el área de estudio cubierta totalmente de bosques (se lo denominó **caso 2**), se utilizaron los valores máximos de los parámetros fijos, pero considerando que toda el área agropecuaria, es bosque.

Caso 1: Para el escenario **1984-2016** se utilizó el mapa URH 2014 y se consideró que los bosques adoptaron los valores de pastura, para todos los parámetros fijos (parámetros de vegetación). En la figura: 3 se puede observar que con respecto al hidrograma observado en los picos máximos se encuentra muy sobre estimado, alcanzando una diferencia de entre 2000 a 5951.1 m^3/seg, lo que significaría que si toda la cobertura boscosa que se tenía en el año 2014 desapareciera y ocurre un evento del niño como se tuvo en los años 2015-2016, las inundaciones generadas por el evento serían de mayor envergadura y con un menor tiempo de respuesta ante el mismo.

Utilizando el mapa URH 2019, se obtuvo un aumento en los picos máximo, el caudal máximo observado es de 10500 m^3/seg y el caudal máximo simulado es de 12.500 m^3/seg, pero se encuentran diferencias desde 300 m^3/seg hasta 4834.50 m^3/seg. Esto se debe a que la mayor parte de la precipitación genera escorrentía superficial, al saturarse muy rápido el suelo, además el tiempo de concentración se considera menor por lo que escurre con mayor rapidez y se tienen picos muy pronunciados

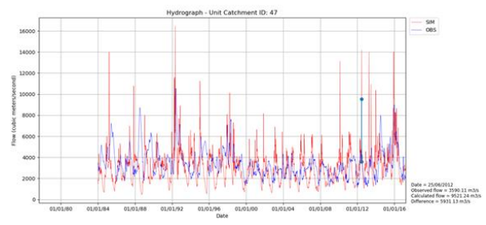

Figura: 3. Hidrograma del año 2014 con los valores mínimos. Fuente: Elaboración propia.

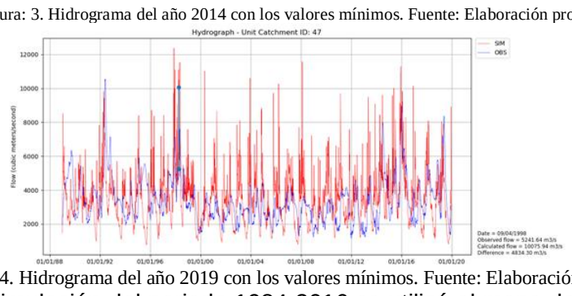

Figura: 4. Hidrograma del año 2019 con los valores mínimos. Fuente: Elaboración propia.

Para la simulación del periodo 1984-2016 se utilizó el mapa de URH del año 2014, en el área urbana se utilizó los valores medios y en los demás se utilizaron los valores máximos para los parámetros de vegetación y del suelo; los parámetros que más influyen para suavizar o alterar los picos son el tiempo de concentración, con los parámetros de calibración de propagación superficial y subterránea; en la figura 5 se puede apreciar picos suavizados, subestimados en su totalidad con respecto al hidrograma observado, se puede observar la diferencia de los caudales máximos obtenidos, se hace énfasis en los caudales máximos debido a que estos están asociados a las inundaciones registradas en el periodo simulado, en los caudales mínimos también se tiene un ligero aumento, pero estos son necesarios en época de sequía

Figura: 5. Hidrograma correspondiente a los años 1984-2016. Fuente: Elaboración propia.

Se utilizó el mapa URH del año 2019 para el periodo 1989-2019. En la Figura 6, se observa el hidrograma simulado (rojo), no se tienen picos pronunciados, como en el hidrograma observado (azul), además en el caudal mínimo se tiene un aumento. Esto se podría deber a que los bosques interceptan la precipitación y no se genera escorrentía superficial en exceso, como ocurre en el caso 1, además el tiempo de concentración es más lento, a esto se debe que los picos estén suavizados, sabiendo que los mismos representan los eventos de inundación ocurridos en el área estudiada. Para el año 2019 se tiene una diferencia del caudal observado con el simulado de 3966.62 m^3/seg, es decir los bosques pueden disminuir el impacto que genera una inundación.

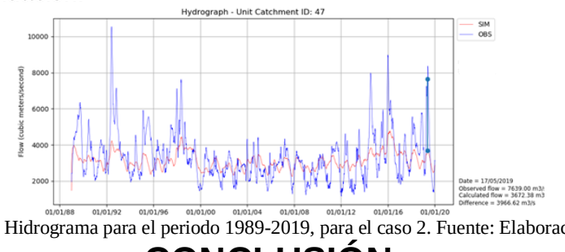

Figura: 6. Hidrograma para el periodo 1989-2019, para el caso 2. Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIÓN

Lo mencionado por Missio, (2014) concuerda con los resultados obtenidos al realizar las simulaciones para los casos 1 y 2, es decir, que para los eventos extremos en este caso; inundación el área boscosa tiende a atenuar los impactos que genera dicho evento, además para los periodos de sequía mantiene el caudal mínimo requerido (caudal ecológico) para que el nivel del río no llegue a niveles críticos, aunque también se debe de tener en cuenta que la inundación es un ciclo del río, que en los últimos años ha aumentado en frecuencia e intensidad, como también los impactos generados especialmente en las zonas ribereñas, ya que se encuentran asentadas varias ciudades. En las zonas rurales donde los bosques fueron desplazados por la agricultura y la ganadería, en dichas áreas se encuentran pastizales para el ganado u cultivos, los mismos no suplen al área deforestada, no sólo, por la intercepción de la precipitación que es mínima en estos usos del suelo, sino que también afecta la evapotranspiración, que es fundamental para el ciclo de hidrológico.

Se simularon los periodos de 1984 a 2014, 1985 al 2016 y 1989 al 2019 por separado, teniendo en cuenta los casos reales de deforestación y luego se realizó el análisis de sensibilidad, donde se puede observar que para el año 2014 la atenuación de la inundación (picos máximos generados en el hidrograma) fue menor en comparación con el año 2019 donde la diferencia es más notoria, esto podría deberse a que en el mapa de URH se tiene mayor área boscosa que en el mapa de URH del año 2019. Por lo que se puede concluir que los caudales máximos tienden a aumentar con el tiempo considerando la deforestación, con relación a los caudales sin deforestación. y para los caudales mínimos la tendencia es de disminuir para la misma formulación. Estos resultados concuerdan con Tucci (2002) y son explicados porque el cambio de uso de suelo genera una mayor escorrentía en épocas húmedas ya que varía la infiltración, lo que genera un aumento en comparación a la existencia de bosques. Se da el caso contrario en los caudales mínimos, en épocas de sequía son aportados por los acuíferos, y estos se encuentran con dificultad para ser rellenados debido a la modificación de la infiltración. En este caso, los caudales mínimos disminuyen al deforestar la cuenca. Los resultados permitieron demostrar el aumento del caudal medio de la cuenca del río Paraguay a través del tiempo, debido a los cambios del uso del suelo que ocurrieron en el área. El mismo incremento fue observado con los datos validados en Asunción, lo que confirma la veracidad de los resultados. El desafío es identificar las medidas de adaptación apropiadas y oportunas en un ambiente cambiante.