

**ESTUDIO HIDROLÓGICO/HIDRÁULICO
PROPUESTO DESARROLLO EXTENSION DE USOS MULTIPLES
GUAYNABO, PUERTO RICO**

PREPARADO PARA:

**LAIF, LLC
SAN JUAN, PUERTO RICO**

PREPARADO POR:

**CARIBE ENVIRONMENTAL SERVICES
CAGUAS, PUERTO RICO**

CES PROYECTO NÚM. 07-0028A

ABRIL 2008

TABLA DE CONTENIDO

<u>SECCIÓN</u>	<u>PAGINA</u>
1.0 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Trasfondo.....	1
1.2 Propósito y Alcance del Estudio.....	3
2.0 EVALUACIÓN HIDROLÓGICA.....	5
2.1 Metodología.....	5
2.2 Parámetros de las Cuenca.....	5
2.2.1 Áreas de Drenaje, Números de Curva (CN) y Tiempos de Concentración.....	6
2.2.2 Datos de Lluvia.....	6
2.3 Resultados Hidrológicos	7
3.0 EVALUACIÓN HIDRÁULICA.....	8
3.1 Metodología.....	8
3.2 Evaluación De Condiciones Existentes.....	9
4.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	12
4.1 Conclusiones.....	12
4.2 Recomendaciones.....	13
5.0 REFERENCIAS.....	16

LISTA DE TABLAS

1	Parámetros de la Cuenca - Condiciones Existentes
2	Resumen de Resultados Caudales Máximos de Escorrentía - Condiciones Existentes
3	Resumen de Resultados Evaluación Hidráulica - Condiciones Existentes en Quebradas
4	Resumen de Resultados Evaluación Hidráulica - Condiciones Existentes en Atarjeas

TABLA DE CONTENIDO (Continued)

LISTA DE FIGURAS

- 1 Mapa de Localización
- 2 Localización Aproximada de Quebradas y Atarjeas incluidas en Estudio H-H
- 3 Curvas Duración-Frecuencia de Lluvia
- 4 Resumen de Resultados Hidrológicos
- 5 Resumen de Resultados Hidráulicos

LISTA DE ANEJOS

- ANEJO A “Printout” Modelo HEC-HMS Condiciones Previo al Proyecto
ANEJO B Datos Topográficos Provistos por Agrimensor Pedro Dávila Colón
ANEJO C “Printout” Modelo HEC-RAS - Condiciones Previo al Proyecto
ANEJO D “Printout” Modelo HY-8-Condiciones Previo al Proyecto

1.0 INTRODUCCIÓN

1.1 Trasfondo

LAIF, LLC (LAIF) está en el proceso de desarrollar un proyecto con fines de usos múltiples que abarca aproximadamente 73 cuerdas en Guaynabo, Puerto Rico. Al presente el área del proyecto está sin desarrollar. Una quebrada, sin nombre, con tres tributarios se ha identificado al oeste de la propiedad. Esta quebrada recibe aguas de escorrentía del área del proyecto y de áreas externas al proyecto localizadas al sur y oeste de los límites de la propiedad. Esta quebrada cruza la parte oeste del proyecto de sur a norte drenando al norte a través de una atarjea que cruza por debajo de una carretera local.

El predio objeto de estudio ubica al Oeste de la PR-834 en el Barrio Hato Nuevo, de Guaynabo, Puerto Rico. El mismo está comprendido dentro de los terrenos que forman parte de los Planes de Ensanche de La Muda y Hato Nuevo.

En el predio se estimulará el desarrollo de un proyecto de usos mixtos que ha de incluir usos tales como: Centro Comercial de índole regional, el cual no excederá los 999,999 pies cuadrados de neta de ventas. Se define como un Centro Regional aquel comercio con un área neta de venta que fluctúa entre 250,000 y 999,999 pies cuadrados, de conformidad con el Glosario de Términos de los Reglamentos de Planificación de la Junta de Planificación con vigencia del 11 de enero de 2009.

El mismo contará con espacios para cines, restaurantes, Food Court, bancos, entre otros usos. Como parte del elemento comercial, además, se proyecta el desarrollo de una torre de oficinas de aproximadamente unos 120,000 pies cuadrados.

Por su parte, en el renglón turístico se visualiza la ubicación de un Hotel de conformidad con las normas establecidas por la Compañía de Turismo para este sector de nuestra economía; se estima que el Hotel podrá contar con unas 200 habitaciones.

En el ámbito residencial, se prevé la construcción de unas 180 unidades básicas de vivienda, las cuales podrán estar distribuidas en varios tipos de vivienda como por ejemplo: casas en hilera, edificios multipisos o residencial unifamiliares.

La escorrentía generada en la propiedad donde será ubicado el proyecto drena superficialmente hacia dos direcciones generales: hacia el norte, a través de la quebrada ya mencionada y hacia el este a través de un sistema de atarjeas que cruzan la carretera PR-834. La quebrada localizada al oeste de la propiedad es tributaria del Río Guaynabo pero no fue incluida en el Estudio de Seguro contra Inundaciones de la Agencia Federal de Manejo de Emergencias (FEMA, por sus siglas en inglés) para este río. De acuerdo a los mapas sobre áreas espaciales con riesgos a inundación adoptados por la Junta de Planificación de Puerto Rico (JPPR) Mapas sobre Tasas del Seguro de Inundación (FIRM por sus siglas en inglés), Panel 730 de 2160 (Número de Mapa 72000C0730H), realizados por la FEMA, Abril 19, 2005. el área del proyecto no está localizado dentro de las áreas susceptibles a inundación según definidas por la Agencia.

El proyecto está ubicado en la carretera estatal PR-834 en el barrio Camarones del Municipio de Guaynabo, Puerto Rico. El proyecto colinda por el norte con terrenos de la sucesión Domingo Morales, la sucesión Ángel Reyes, la sucesión Laureano Martínez, la sucesión Ángel Burgos, la

sucesión Alfredo Molina y el Municipio de Guaynabo; por el oeste con la carretera estatal PR-835, por el este con la carretera estatal PR-834 y por el sur con la carretera que conecta la PR-834 con la PR-835. La localización aproximada del proyecto se presenta en la *Figura 1*.

1.2 Propósito y Alcance del Estudio

LAIF contrató los servicios de Caribe Environmental Services (CES) para desarrollar un estudio hidrológico/hidráulico (H/H) del área del proyecto. El objetivo principal de este estudio es Identificar posible limitaciones y/o restricciones hidrológicas- hidráulicas que deban ser consideradas en el proceso de diseño del proyecto.

El alcance del estudio incluyó las siguientes actividades:

- Evaluación hidrológica del área del proyecto que descarga en la quebrada que atraviesa la parte oeste de la propiedad, como también del área que drena hacia el este descargando fuera del área del proyecto a través de una serie de atarjeas bajo la carretera PR-834. Se estimaron los hidrogramas de caudales para los eventos de lluvia con períodos de frecuencia de 2, 5, 25, 50 y 100-años y duraciones de 2, 3, 6, 12 y 24 horas bajo condiciones antes de la construcción del proyecto.
- Evaluación hidrológica de las áreas de drenaje externas al proyecto que descargan en el área del proyecto para estimar los hidrogramas de caudales para los eventos de lluvia con períodos de frecuencia de 2, 5, 25, 50 y 100-años y duraciones de 2, 3, 6, 12 y 24 horas bajo condiciones antes de la construcción del proyecto.
- Evaluación hidráulica de aproximadamente 1,140 metros de la quebrada localizada al oeste y sus tributarios para estimar elevaciones y velocidades de flujo para el evento crítico con período de recurrencia de 100-años y 24 horas de duración, presumiendo condiciones previas a la construcción del proyecto propuesto. Inicialmente se había estimado que sería necesario la evaluación hidrológica e hidráulica de dos quebradas dentro del área del proyecto. Sin embargo, luego de haberse completado el estudio de determinación de áreas bajo la jurisdicción de la agencia federal Cuerpo de Ingenieros del Ejercito de los Estados Unidos (COE por sus siglas en inglés), se extendió el alcance del estudio H/H para incluir las quebradas que preliminarmente se determinó eran de carácter jurisdiccional.
- Evaluación hidráulica de ocho estructuras (atarjeas) existentes que de una forma u otra afectan o podrían ser afectadas por el desarrollo del proyecto, ya que por ellas fluye agua que es recibida en el área del proyecto o descarga fuera del área del proyecto. Inicialmente se había estimado que sería necesario la evaluación hidrológica e hidráulica de tres atarjeas dentro del área del proyecto. Sin embargo, luego de haberse completado

el plano topográfico para el área del proyecto se encontró que 8 atarjeas debían ser evaluadas. El alcance del estudio H/H se extendió para incluir las 8 atarjeas.

- Preparación de un informe para documentar los estudios realizados.

La localización aproximada de las quebradas y atarjeas incluidas en el estudio H/H se presenta en la **Figura 2**.

2.0 EVALUACIÓN HIDROLÓGICA

2.1 Metodología

La evaluación hidrológica para este estudio fue realizada utilizando el modelo de computadoras HEC-HMS desarrollado por el US Army Corps of Engineers (USACE, 2006, Version 3.1.0). Este modelo provee la opción de simular el comportamiento hidrológico de una cuenca utilizando la metodología recomendada por el Soil Conservation Service (SCS, 1964) para estimar hidrogramas de escorrentía. La metodología recomendada por el SCS permite la generación de hidrogramas de caudales utilizando el concepto de hidrogramas unitarios. Se computaron hidrogramas de diseño, para las lluvias con frecuencia de 2, 5, 25, 50 y 100 años y duraciones de 2, 3, 6, 12, y 24 horas. Estos hidrogramas se computaron para cada área de drenaje ubicada dentro del área del proyecto y cada área de drenaje externa que genera escorrentía hacia el proyecto.

2.2 Parámetros de la Cuenca

Los parámetros de la cuenca necesarios para el desarrollo de hidrogramas de escorrentía cuando se utiliza el método del SCS son el tamaño del área de drenaje, el número de curva (CN) y el tiempo de concentración (TC). El CN es un índice del potencial de escorrentía de la cuenca. Este índice es función del tipo de suelo, el grupo hidrológico del suelo, el tipo de uso del terreno y de la condición antecedente de humedad (AMC) en la cuenca previa al evento de lluvia. Los valores de CN computados para este estudio son representativos de las condiciones antecedentes de humedad promedio para la cuenca (AMC II).

El tiempo de concentración es una medida del tiempo que le toma a una cuenca en responder a un evento de lluvia. El TC es función de las características hidrográficas de la cuenca.

2.2.1 Áreas de Drenaje, Números de Curva (CN) y Tiempos de Concentración

La delimitación de las áreas de drenaje incluidas en la evaluación hidrológica se muestra en la **Figura 4** para condiciones existentes. Bajo condiciones existentes el área del proyecto recibe aguas de escorrentía de 3 áreas fuera del proyecto (off-site areas) localizadas al sur y al oeste de la propiedad descargando luego hacia áreas externas localizadas al norte y este. Estas cuencas externas no serán afectadas por el proyecto propuesto. Como parte de esta evaluación también se analizó un área de drenaje que está localizada fuera del área del proyecto hacia el noreste la cual no drena hacia el área del proyecto pero descarga en la atarjea No. 8, donde parte del área del proyecto drena. Dentro del área del proyecto se identificaron 14 sub-cuencas las cuales drenan en general hacia dos direcciones: hacia el este o hacia el norte y a su vez descargan hacia las áreas aguas abajo (fuera de los límites del proyecto) a través de 6 puntos de descarga.

Los datos para calcular los números de curva (CNs) se obtuvieron del ANRCS Soil Survey Geographic database for San Juan Area (NRCS, 2006), el U.S. Geological Survey (USGS) Topographic Map of Aguas Buenas Quadrangle (USGS, 1969), y observaciones de campo. Los datos para el cálculo de los tiempos de concentración se obtuvieron del cuadrángulo, del mapa topográfico del área del proyecto y de observaciones de campo. Los tiempos de concentración se calcularon usando el Lag Equation (SCS, 1964) y el tiempo de flujo a lo largo de la quebrada en las diferentes áreas dentro y fuera del proyecto. Un resumen de los parámetros hidrológicos calculados para cada área de drenaje se presenta en la **Tabla 1**.

2.2.2 Datos de Lluvia

Se generaron curvas de profundidad-duración para las lluvias con frecuencias de 2, 5, 25, 50 y 100 años, usando datos del Technical Paper No. 42 (USDC, 1961). La **Figura 3** muestra las curvas de duración-frecuencia para el área de estudio. Para desarrollar hidrogramas de escorrentía para una lluvia de duración específica, se necesita distribuir en tiempo y espacio la

profundidad de lluvia obtenida de la **Figura 3**. La distribución de lluvia para este proyecto se simuló usando el método de alternar bloques (Chow, Maidment, Mays, 1988).

2.3 Resultados Hidrológicos

Los parámetros de las áreas de drenaje bajo condiciones existentes presentados en la **Tabla 1** se codificaron en el modelo HEC-HMS para estimar los hidrogramas de caudales para los eventos con frecuencia de 2, 5, 25, 50 y 100 años y duraciones de 2, 3, 6, 12 y 24 horas bajo condiciones antes de la construcción del proyecto propuesto. Los resultados de estas simulaciones hidrológicas se resumen en la **Tabla 2 y la Figura 4** para las condiciones existentes. Los printouts del modelo HEC-HMS de se presentan en el **Anejo A** para condiciones antes de la construcción del proyecto propuesto.

3.0 EVALUACIÓN HIDRÁULICA

3.1 METODOLOGIA

El análisis hidráulico incluyó el cómputo de los niveles de inundación al igual que el límite aproximado de la planicie inundable para la inundación base según el Reglamento de Planificación Núm. 13 (evento de 100 años de frecuencia) para cada una de las quebradas determinadas como jurisdiccionales. Las evaluaciones hidráulicas de las quebradas se realizaron presumiendo caudal unidimensional estable y gradualmente variable. Se usó la versión del 2006 del modelo para computadoras Sistema de Análisis de Río (HEC-RAS, por sus siglas en inglés), desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (USACE, por sus siglas en inglés, 2006). HEC-RAS es un sistema de programas integrados, diseñados para uso interactivo en un medio de redes de multi-tareas y multi-usuarios. El sistema forma componentes de análisis hidráulicos separados, capacidades de almacenaje y manejo de datos, y facilidades de generación de gráficas e informes.

HEC-RAS tiene capacidad para simular canales naturales y artificiales con secciones transversales irregulares, rugosidades variables, pendientes variables, puentes y otras estructuras de control, y regímenes de caudales variables. HEC-RAS calcula diferentes parámetros hidráulicos tales como niveles de inundación, velocidades, ancho de tope y otras características hidráulicas en puntos discretos dentro de un sistema de un río. Puntos discretos a lo largo del río se representan por secciones transversales. HEC-RAS también tiene capacidad para importar datos de HEC-2 (USACE, 1991), y para simular cálculos unidimensionales de transporte de sedimento como resultado de erosión y deposición. HEC-RAS ha sido diseñado por el USACE como su nueva generación de análisis de sistemas de ríos y se espera que reemplace el modelo de computadora HEC-2.

El análisis hidráulico de las atarjeas localizadas en las quebradas se realizó utilizando el modelo

HEC-RAS. El análisis de las atarjeas que no están asociadas a quebradas fue realizado utilizando el modelo de computadoras HY-8 desarrollado por el Federal Highway Administration (FHWA, 2007). El programa HY-8 es una versión computadorizada de los procedimientos y protocolos desarrollados por el FHWA para el análisis hidráulico de atarjeas.

3.2 Evaluación De Condiciones Existentes

Para simular las características topográficas de las quebradas incluidas en la evaluación hidráulica, se usaron las secciones transversales y la topografía del área del proyecto preparadas por el agrimensor Pedro Dávila. Los datos topográficos provistos a CES se incluyen en el *Anejo B* de este informe.

Este estudio evaluó las condiciones hidráulicas de la Quebrada-1, la cual atraviesa el oeste del proyecto de sur a norte y tres quebradas tributarias dentro de los límites de la propiedad (ie: Quebrada-3, Quebrada-4, Quebrada-5). El tramo a lo largo de la Quebrada-1 tiene una longitud de aproximadamente 745 metros. El análisis de la Quebrada-1 comenzó aproximadamente 100 metros aguas arriba de área del proyecto y aproximadamente 280 metros aguas abajo del límite norte de la propiedad. Los tramos analizados para las Quebradas 3, 4 y 5 tienen longitudes de aproximadamente 200 metros, 15 metros y 180 metros, respectivamente.

Las condiciones iniciales para la evaluación hidráulica fueron dadas por el flujo calculado aguas arribas de las quebradas y la pendiente de la Quebrada-1 aguas abajo del área del proyecto. De esta manera se analizaron los cuerpos de aguas utilizando los dos regímenes de flujos; súper-crítico y sub-crítico, según fue necesario.

Los datos topográficos existentes y los datos hidrológicos fueron codificados en el modelo HEC-RAS para estimar las elevaciones y velocidades para el evento de lluvia de 24 horas de duración y 100-años de frecuencia en las secciones transversales del tramo evaluado. Los coeficientes de

rugosidad de Manning (N) se seleccionaron basados en observaciones de campo, datos publicados y nuestra experiencia profesional. Los valores de N utilizados fueron 0.05 para el área del canal y 0.15 para el área de los bancos.

Un resumen de los resultados hidráulicos para las condiciones existentes en los tramos de quebrada evaluados se presenta en la **Tabla 3** y en la **Figura 5**. El “printout” del modelo de computadora HEC-RAS para la simulación de las condiciones existentes se incluye en el **Anejo C**.

Según se muestra en la **Tabla 3**, se esperan niveles de inundación en los tramos estudiados que varían desde aproximadamente 151.59 metros en el límite norte del área del proyecto hasta 201.23 metros en el límite sur del proyecto. Los resultados de la evaluación hidráulica indican que se espera una combinación de flujos sub-crítico y crítico a lo largo de las quebradas, dependiendo de la pendiente existente en la quebrada.

Además de la delimitación del área de inundación de 100 años se delimitó para cada una de las quebradas estudiadas el límite de la franja de 7m a cada lado de las quebradas requerido por el Municipio de Guaynabo. Esta delimitación se presenta también en la **Figura 5**. Según se presenta en la **Figura 5**, excepto en unas áreas bien limitadas, el límite de la inundación de 100 años se encuentra dentro de la franja requerida por el Municipio. En general, debido a la condición de topografía escarpada existente del área adyacente a las quebradas, el área de inundación para el evento de 100 años sólo afecta un área relativamente limitada a lo largo de las quebradas dentro de los límites del proyecto.

Para cada punto de entrada y salida de los caudales de agua de escorrentía que van desde o hacia el área del proyecto donde se localizaron atarjeas, se computó el nivel de inundación de 100 años aguas arriba de las atarjeas. Se evaluaron 8 atarjeas como parte del análisis hidráulico. Un

resumen de los resultados hidráulicos para las atarjeas se presenta en la **Tabla 4** y la **Figura 5**. El “printout” del modelo de computadora HY-8 para la simulación de las condiciones existentes en las atarjeas se incluye en el **Anejo D**.

Los resultados hidráulicos presentados en la **Tabla 4** y la **Figura 5** indican que 4 de las 8 atarjeas evaluadas, incluyendo la atarjea localizada al norte del área del proyecto bajo la carretera local de acceso, no tienen capacidad para manejar el flujo del evento de 100 años sin que haya flujo sobre la carretera.

4.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Basado en los resultados del estudio hidrológico/hidráulico presentado en este informe se concluye y recomienda lo siguiente:

4.1 Conclusiones

- Bajo condiciones existentes el área del proyecto recibe aguas de escorrentía de 3 áreas fuera del proyecto (off-site areas) localizadas al sur y al oeste de la propiedad para luego descargar hacia áreas externas al norte y al este del proyecto. Estas cuencas externas no serán afectadas por el proyecto propuesto. Como parte de esta evaluación también se analizó un área de drenaje que está localizada fuera del área del proyecto hacia el noreste la cual no drena hacia el área del proyecto pero descarga en la atarjea núm. 8, donde parte del área del proyecto drena. Los caudales de escorrentía del área del proyecto descargan hacia las áreas aguas abajo (fuera de los límites del proyecto) en 6 puntos de descarga.
- Los resultados hidráulicos indican que los niveles de inundación para el evento de 100 años de frecuencia generaría niveles de inundación en los tramos de las quebradas estudiadas que varían desde aproximadamente 151.59 metros en el límite norte del área del proyecto hasta 201.23 metros en el límite sur del proyecto. Los resultados de la evaluación hidráulica indican que se espera una combinación de flujos sub-crítico y crítico a lo largo de las quebradas, dependiendo de la pendiente existente en la quebrada.
- Además de la delimitación del área de inundación de 100 años se delimitó para cada una de las quebradas estudiadas el límite de la franja de 7m a cada lado de las quebradas requerido por el Municipio. Esta delimitación se presenta también en la **Figura 5**. Según se presenta en la **Figura 5**, excepto en unas áreas bien limitadas, el límite de la inundación de 100 años se encuentra dentro de la franja requerida por el Municipio. En general, debido a la condición de topografía escarpada existente del área adyacente a las quebradas, el área de inundación para el evento de 100 años sólo afecta un área relativamente limitada a lo largo de las quebradas dentro de los límites del proyecto.
- Los resultados hidráulicos presentados en este estudio indican que 4 de las 8 atarjeas evaluadas, incluyendo la atarjea localizada al norte del área del proyecto bajo la carretera local de acceso, no tienen capacidad para manejar el flujo del evento de 100 años sin que haya flujo sobre la carretera.

4.2 Recomendaciones

Basado en los resultados de este estudio se recomienda lo siguiente:

- Mantener los caudales existentes en cada punto de salida del proyecto sin alterar, de manera que los caudales que al presente descargan al Río Guaynabo se mantengan similares luego del desarrollo.
- No impactar ni limitar los caudales de las áreas fuera del proyecto (off-site) que al presente entran a la propiedad.
- No impactar el límite de la inundación de 100 años ni el límite requerido por el Municipio para las quebradas estudiadas
- Tomar en consideración la provisión de charcas de retención como parte del desarrollo del proyecto para cumplir con los reglamentos de Planificación núm. 13 (Reglamento para el Desarrollo en Áreas Inundables) y núm. 3 (Reglamento de Lotificación y Urbanización).

Justificación para las Recomendaciones:

- Se minimizan los impactos hidrológicos al Río Guaynabo reduciendo así la posible oposición de grupos ambientales por reducción de caudales hacia el río.
- Se mantienen los patrones de drenaje existentes del área del proyecto similares a los existentes una vez el proyecto sea construido.
- En combinación con las recomendaciones de otros estudios tales como el estudio de Flora y Fauna y el de Determinación de Jurisdicción provee las siguientes ventajas:
 - Contribuye a la oportunidad de capitalizar sobre el valor estético del proyecto.
 - Es una acción proactiva que crea un mejor ambiente para la aprobación del documento ambiental.
 - Contribuye a proteger el Río Guaynabo contra sedimentación y contaminación, con los beneficios mencionados anteriormente.

- Permite cumplimiento con la Ley de Aguas de Puerto Rico que requiere que un predio sirviente no impacte los caudales de áreas drenando hacia el predio.
- Permite cumplimiento con el Reglamento de Planificación núm. 3 que requiere que los caudales de escorrentía luego del desarrollo de un proyecto de urbanización no excedan los caudales de escorrentía bajo las condiciones de no desarrollo del área.

**CERTIFICACION
ESTUDIO HIDROLOGICO – HIDRAULICO**

Certifico que este estudio hidrológico - hidraulico fue preparado utilizando las prácticas de hidrología e hidráulica normalmente utilizadas por profesionales competentes dentro de este campo, aplicables al proyecto según descritas en el documento propio, y que a mi mejor entender y conocimiento basándome en los estudios y medidas de campo provistas por otras personas, los resultados del estudio son ciertos y correctos.

Certificado en Caguas, Puerto Rico hoy 29 de abril de 2008.



**Raúl Colón, P.E., P.H.
Licencia Núm. 8119**

5.0 REFERENCIAS

Junta de Planificación de Puerto Rico (JPPR), Reglamento de Lotificación y Urbanización, (Reglamento de Planificación Núm. 3), junio de 2005.

Soil Conservation Service (SCS), Hydrologic Guide for Use in Watershed Planning, National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology 1964.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE), AHEC-HMS Flood Hydrograph Package, December 2006, Hydrologic Engineering Center, Davis, California.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE), AHEC-RAS River Analysis System User's Manual. Version 4.0 November 2006, Hydrologic Engineering Center, Davis, California.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE), HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual. Version 3.1 November 2002, Hydrologic Engineering Center, Davis, California

U.S. Department of Commerce (USDC), Technical Paper No. 42, Generalized Estimate of Probable Maximum Precipitation and Rainfall Frequency Data for Puerto Rico and Virgin Islands, 1961, U.S. Weather Bureau.

U.S. Geological Survey (USGS), Topographic Map for Aguas Buenas Quadrangle (USGS, 1964)

Soil Survey Geographic (SSURGO) database for San Juan Area, Puerto Rico, U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service; December 2006.

URL: <http://www.ftw.nrcs.usda.gov/ssur_data.html>, <http://soils.usda.gov/>

Hydraulic Design Series Number 5, Federal Highway Administration Publication No. FHWA-NHI-01-020, September 2001 (Revised May 2005)

Hydrology and Hydraulics Systems, Second Edition, Ram S. Gupta, 2001.

Flood Insurance Rate Maps, Panel 0730 of 2160 (Map Number 72000C0730H), by the Federal Emergency Management Agency (FEMA). Effective date April 19, 2005.

Flood Insurance Rate Maps, Panel 0730 of 2160 (Map Number 72000C0730H), by the Federal Emergency Management Agency (FEMA). Effective date November 18, 2009.

*Estudio Hidrológico/Hidráulico Preliminar
Propuesto Desarrollo Extensión de Usos Múltiples
Guaynabo, Puerto Rico
CES Poroyecto Núm. 07-0028A*

TABLAS

**TABLA 1
PARÁMETROS DE LA CUENCA
Condiciones Existentes**

Sub-cuencas	Área de Drenaje Antes del Desarrollo (mi²)	CN Antes del Desarrollo	TC Antes del Desarrollo (Minutos)
Proyecto 1-1	0.0105	79	3.9
Proyecto 1-2	0.0055	78	4.3
Proyecto 1-3	0.0055	72	6
Proyecto 1-4	0.0009	76	6
Proyecto 1-4-1	0.0013	77	4.9
Proyecto 1-5	0.0095	77	3.9
Proyecto 2	0.0010	77	4.3
Proyecto 3	0.0062	74	4.9
Proyecto 3-1	0.0075	72	5.8
Proyecto 3-2	0.0057	85	3.9
Proyecto 4	0.0142	81	4.1
Proyecto 5	0.0194	79	3.9
Proyecto 5-1	0.0113	75	11.8
Proyecto 5-2	0.0130	72	10.6
Fuera del Proyecto 1*	0.0229	89	11.5

**TABLA 1 (Continuación)
PARÁMETROS DE LA CUENCA
Condiciones Existentes**

Sub-cuencas	Área de Drenaje Antes del Desarrollo (mi²)	CN Antes del Desarrollo	TC Antes del Desarrollo (Minutos)
Fuera del Proyecto 2*	0.0130	90	5.7
Fuera del Proyecto 3*	0.0152	94	3.3
Fuera del Proyecto 4	0.0056	80	3.9
Fuera del Proyecto 5	0.0152	89	3.9

Notas: * Áreas externas (Fuera del Proyecto) drenando a través del proyecto.

Los suelos dominantes en las Áreas externas y Áreas del proyecto fueron Mucara, Humatas y Naranjito. Las clasificaciones hidrológicas de estos suelos son C y D.

TABLA 2
RESUMEN DE RESULTADOS
Caudales Máximos de Escorrentía (Metros cúbicos por segundo)
Condiciones Existentes

Duración (Horas)	Proyecto 1-1	Proyecto 1-2	Proyecto 1-3	Proyecto 1-4	Proyecto 1-4-1	Proyecto 1-5	Proyecto 2	Proyecto 3	Proyecto 3-1	Proyecto 3-2	Proyecto 4	Proyecto 5	Proyecto 5-1	Proyecto 5-2	Fuera del Proyecto 1	Fuera del Proyecto 2	Fuera del Proyecto 3	Fuera del Proyecto 4	Fuera del Proyecto 5	Salida 1	Salida 2	Salida 3	Salida 4	Salida 5	Salida 6	Unión-1
Frecuencia de 100-años																										
24	2.79	1.64	1.12	0.22	0.31	2.24	0.30	1.31	1.68	1.46	3.54	4.41	2.64	2.66	3.94	3.22	3.09	1.39	4.02	13.95	0.30	7.56	5.06	4.44	6.75	12.73
12	2.69	1.57	1.05	0.20	0.30	2.14	0.29	1.24	1.58	1.43	3.43	4.22	2.50	2.49	3.88	3.19	3.07	1.34	3.98	13.50	0.29	7.41	4.76	4.23	6.56	12.70
6	2.56	1.49	0.97	0.19	0.29	2.02	0.27	1.16	1.46	1.39	3.30	4.00	2.32	2.30	3.81	3.13	3.06	1.29	3.91	12.95	0.27	7.21	4.41	3.99	6.30	11.83
3	2.37	1.36	0.85	0.17	0.26	1.85	0.25	1.03	1.30	1.33	3.09	3.65	2.08	2.04	3.68	3.05	3.02	1.20	3.81	12.09	0.25	6.90	3.91	3.63	5.90	11.12
2	2.25	1.29	0.79	0.16	0.25	1.75	0.23	0.97	1.21	1.29	2.97	3.45	1.94	1.88	3.60	3.00	3.00	1.15	3.74	11.55	0.23	6.71	3.62	3.43	5.65	10.68
Frecuencia de 50-años																										
24	2.53	1.48	0.99	0.19	0.28	2.02	0.27	1.17	1.50	1.34	3.21	3.97	2.36	2.37	3.60	2.96	2.85	1.26	3.70	12.63	0.27	6.91	4.51	3.99	6.13	11.54
12	2.42	1.41	0.93	0.18	0.27	1.92	0.26	1.10	1.40	1.31	3.11	3.79	2.22	2.21	3.55	2.92	2.83	1.21	3.65	12.20	0.26	6.75	4.23	3.80	5.94	11.14
6	2.29	1.33	0.85	0.17	0.25	1.80	0.24	1.02	1.28	1.26	2.96	3.55	2.05	2.02	3.47	2.87	2.81	1.15	3.58	11.60	0.24	6.54	3.87	3.54	5.67	10.62
3	2.08	1.19	0.72	0.15	0.23	1.61	0.22	0.89	1.11	1.19	2.74	3.17	1.78	1.73	3.32	2.77	2.78	1.06	3.45	10.64	0.22	6.19	3.32	3.15	5.23	9.83
2	1.99	1.14	0.68	0.14	0.22	1.53	0.20	0.84	1.04	1.17	2.65	3.03	1.68	1.62	3.25	2.73	2.76	1.02	3.40	10.26	0.20	6.05	3.12	3.01	5.05	9.51
Frecuencia de 25-años																										
24	2.19	1.28	0.85	0.16	0.25	1.74	0.24	1.01	1.28	1.17	2.80	3.44	2.03	2.02	3.18	2.61	2.52	1.09	3.26	11.01	0.24	6.06	3.87	3.45	5.37	10.06
12	2.08	1.21	0.78	0.16	0.23	1.64	0.22	0.93	1.18	1.14	2.68	3.25	1.88	1.86	3.11	2.57	2.51	1.04	3.20	10.53	0.22	5.88	3.56	3.23	5.15	9.62
6	1.96	1.13	0.71	0.14	0.22	1.53	0.20	0.86	1.07	1.10	2.55	3.03	1.73	1.69	3.04	2.51	2.49	0.99	3.13	10.00	0.20	5.68	3.25	3.01	4.92	9.18
3	1.78	1.02	0.61	0.13	0.20	1.37	0.18	0.75	0.93	1.04	2.36	2.72	1.51	1.45	2.91	2.43	2.45	0.91	3.03	9.19	0.18	5.38	2.81	2.69	4.56	8.74
2	1.68	0.95	0.55	0.12	0.18	1.28	0.17	0.69	0.85	1.00	2.24	2.55	1.39	1.32	2.82	2.38	2.43	0.86	2.96	8.75	0.17	5.20	2.56	2.51	4.34	8.12

TABLA 2 (Continuación)
RESUMEN DE RESULTADOS
Caudales Máximos de Escorrentía (Metros cúbicos por segundo)
Condiciones Existentes

Duración (Horas)	Proyecto 1-1	Proyecto 1-2	Proyecto 1-3	Proyecto 1-4	Proyecto 1-4-1	Proyecto 1-5	Proyecto 2	Proyecto 3	Proyecto 3-1	Proyecto 3-2	Proyecto 4	Proyecto 5	Proyecto 5-1	Proyecto 5-2	Fuera del Proyecto 1	Fuera del Proyecto 2	Fuera del Proyecto 3	Fuera del Proyecto 4	Fuera del Proyecto 5	Salida 1	Salida 2	Salida 3	Salida 4	Salida 5	Salida 6	Unión-1	
Frecuencia de 100-años																											
24	1.84	1.07	0.69	0.14	0.20	1.45	0.20	0.82	1.04	1.01	2.37	2.88	1.66	1.64	2.77	2.29	2.23	0.92	2.85	9.34	0.20	5.22	3.15	2.86	4.59	8.78	
12	1.76	1.02	0.64	0.13	0.20	1.38	0.18	0.77	0.97	0.98	2.29	2.74	1.56	1.53	2.72	2.25	2.22	0.89	2.80	8.99	0.18	5.09	2.94	2.71	4.43	8.24	
6	1.63	0.93	0.57	0.12	0.18	1.26	0.17	0.69	0.86	0.94	2.15	2.51	1.41	1.35	2.63	2.19	2.20	0.83	2.73	8.42	0.17	4.87	2.62	2.47	4.18	7.77	
3	1.49	0.84	0.49	0.10	0.16	1.14	0.15	0.61	0.75	0.89	1.99	2.27	1.24	1.17	2.52	2.12	2.17	0.76	2.63	7.79	0.15	4.62	2.27	2.23	3.89	7.23	
2	1.38	0.78	0.44	0.10	0.15	1.05	0.14	0.56	0.68	0.85	1.88	2.10	1.12	1.05	2.44	2.07	2.14	0.72	2.56	7.36	0.14	4.44	2.04	2.05	3.68	6.83	
Frecuencia de 50-años																											
24	1.51	0.87	0.55	0.11	0.17	1.18	0.16	0.66	0.83	0.85	1.96	2.36	1.34	1.30	2.35	1.94	1.91	0.76	2.41	7.73	0.16	4.37	2.52	2.32	3.83	7.09	
12	1.42	0.82	0.50	0.10	0.16	1.10	0.15	0.61	0.75	0.82	1.87	2.20	1.23	1.19	2.29	1.90	1.90	0.72	2.36	7.35	0.15	4.23	2.30	2.16	3.66	6.77	
6	1.29	0.74	0.43	0.09	0.14	0.99	0.13	0.53	0.65	0.77	1.72	1.98	1.08	1.02	2.19	1.84	1.87	0.66	2.28	6.77	0.13	4.00	1.99	1.93	3.41	6.29	
3	1.15	0.65	0.36	0.08	0.12	0.87	0.11	0.45	0.55	0.72	1.57	1.75	0.92	0.85	2.08	1.76	1.83	0.60	2.18	6.19	0.11	3.75	1.67	1.70	3.13	5.76	
2	1.06	0.59	0.31	0.07	0.11	0.79	0.10	0.41	0.49	0.69	1.47	1.61	0.83	0.75	2.00	1.71	1.81	0.56	2.11	5.82	0.10	3.58	1.50	1.55	2.95	5.41	
Frecuencia de 25-años																											
24	1.00	0.57	0.33	0.07	0.11	0.76	0.10	0.41	0.50	0.59	1.33	1.55	0.84	0.79	1.71	1.42	1.45	0.51	1.76	5.27	0.10	3.09	1.55	1.50	2.68	4.89	
12	0.91	0.51	0.29	0.06	0.10	0.68	0.09	0.36	0.44	0.56	1.23	1.40	0.74	0.68	1.64	1.38	1.42	0.47	1.70	4.88	0.09	2.92	1.35	1.35	2.50	4.55	
6	0.80	0.45	0.23	0.05	0.08	0.59	0.08	0.30	0.36	0.52	1.11	1.22	0.62	0.56	1.54	1.31	1.39	0.42	1.61	4.44	0.08	2.72	1.12	1.17	2.29	4.14	
3	0.67	0.37	0.18	0.04	0.07	0.48	0.07	0.24	0.27	0.46	0.95	1.00	0.49	0.42	1.41	1.23	1.35	0.36	1.50	3.84	0.07	2.45	0.85	0.94	2.02	3.59	
2	0.61	0.33	0.15	0.04	0.06	0.44	0.06	0.21	0.24	0.44	0.88	0.91	0.43	0.37	1.35	1.19	1.32	0.33	1.44	3.58	0.06	2.33	0.75	0.86	1.90	3.37	

**TABLA 3
RESUMEN DE RESULTADOS
Evaluación Hidráulica
Condiciones Existentes en Quebradas - Evento de 100 Años (24-Horas)**

Quebrada-1			
Sección Transversal (Estación en metros)	Condiciones Existentes Elevación de Agua (m)	Condiciones Existentes Velocidad en Canal (m/s)	Comentarios
1+00.00	151.59	1.23	Límite Norte del Proyecto
1+33.94	153.00	3.44	
1+62.60	153.58	3.44	
1+74.65	154.13	1.03	
2+11.58	155.29	4.11	
2+18.40	155.64	7.31	
2+67.90	167.88	3.60	
3+17.40	171.88	5.45	
3+66.90	188.25	4.56	
4+16.40	199.38	2.23	
4+75.64	201.23	2.94	Límite Sur del Proyecto
Quebrada-3			
0+00.00	169.06	3.78	
0+36.30	174.37	4.70	
0+77.39	184.51	3.34	
1+40.99	192.60	2.00	
Quebrada-4			
0+00.00	157.24	1.82	
0+07.30	160.31	2.26	
Quebrada-5			
0+00.00	154.09	2.61	
0+42.80	157.23	4.81	
0+89.30	166.01	4.5	
1+35.80	177.52	0.39	

TABLA 4
RESUMEN DE RESULTADOS
Evaluación Hidráulica
Condiciones Existentes en Atarjeas - Evento de 100 Años (24-Horas)

Atarjea	100 Años Flujo (m³/s)	Elevación de Agua (m)	Elevación de Carretera (m)
1*	3.94	208.84	208.11
2*	3.22	196.19	195.50
3	3.09	155.40	156.00
4	0.30	172.80	173.60
5*	5.06	120.86	120.51
6	6.75	145.55	146.07
7*	13.95	151.57	151.12
8	7.56	91.42	107.00

*El nivel del agua sobrepasa el nivel del tope de la carretera.

*Estudio Hidrológico/Hidráulico Preliminar
Propuesto Desarrollo Extensión de Usos Múltiples
Guaynabo, Puerto Rico
CES Poroyecto Núm. 07-0028A*

FIGURAS

*Estudio Hidrológico/Hidráulico Preliminar
Propuesto Desarrollo Extensión de Usos Múltiples
Guaynabo, Puerto Rico
CES Proyecto Núm. 07-0028A*

ANEJOS

ANEJO A

APrintout@ Modelo HEC-HMS Condiciones Previo al Proyecto

*Estudio Hidrológico/Hidráulico Preliminar
Propuesto Desarrollo Extensión de Usos Múltiples
Guaynabo, Puerto Rico
CES Proyecto Núm. 07-0028A*

ANEJO B

Datos Topográficos Provistos por Agrimensor Pedro J. Dávila Colón

*Estudio Hidrológico/Hidráulico Preliminar
Propuesto Desarrollo Extensión de Usos Múltiples
Guaynabo, Puerto Rico
CES Proyecto Núm. 07-0028A*

ANEJO C

APrintout@ Modelo HEC-RAS - Condiciones Previo al Proyecto

*Estudio Hidrológico/Hidráulico Preliminar
Propuesto Desarrollo Extensión de Usos Múltiples
Guaynabo, Puerto Rico
CES Proyecto Núm. 07-0028A*

ANEJO D

APrintout@ Modelo HY-8 - Condiciones Previo al Proyecto