ORE HYBAM Observatoire de Recherche en Environnement
Controles geodinámico, hidrológico y bioquímico de la erosión/
alteración y de las transferencias de materia en la cuenca del Amazonas

Institut de recherche
pour le développement

Estudio de la crecida 2014 en la cuenca del rio Madera

Philippe Vauchel

(IRD, Ingeniero hidrólogo del programa HYBAM)

Abril 2014

Agradecimientos

Este documento ha sido posible gracias a la colaboración de varios institutos y personas, que han proporcionado los datos en forma muy rápida para que sea posible seguir la crecida en tiempo casi real. Agradecemos especialmente al SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología) de Bolivia y a la ANA (Agencia Nacional das Aguas) de Brasil, por su esmero apoyo en proporcionar rápidamente los datos relevantes. También agradecemos a los ingenieros Oscar Fuertes (SENAMHI) y Franck Timouk (IRD) por las mediciones de campo en condiciones difíciles durante la crecida, y al ingeniero Gérard Cochonneau(IRD) por los cálculos de niveles de agua a partir de los datos satelitales.

Introducción

EL Servicio de Observación HYBAM es una estructura de cooperación internacional creada en el año 2003, y financiada por el IRD, el INSU y el *Observatoire Midi-Pyrénées*, en colaboración con varias universidades y servicios hidrológicos de los países de la región de la cuenca Amazónica (Brasil, Perú, Bolivia, Ecuador, Venezuela, Colombia). Bajo la responsabilidad de Jean-Michel Martinez (IRD), dedica sus actividades de observación a la hidrología y a la geoquímica de las aguas amazónicas. Su objetivo es de proporcionar a la comunidad científica y a los decidores unas observaciones confiables y de larga duración sobre la evolución de la cuenca hidrográfica más grande del mundo, que por sí sólo representa cerca del 20% de los aportes en aguas continentales a los océanos.

Gracias a la red de estaciones hidrométricas de los servicios nacionales de meteorología y de hidrología de Perú y de Bolivia (SENAMHI), y con el apoyo de la agencia nacional del agua de Brasil (ANA), los equipos del observatorio HYBAM siguieron la evolución de la crecida de Rio Madeira, de Perú y Bolivia hacia Brasil, desde finales del enero. La red HYBAM intervino a varios niveles: mediciones y monitoreo en el campo, vigilancia desde el espacio, y comprensión de los mecanismos de generación y de propagación de la crecida.

Unas comisiones de campo fueron organizadas conjuntamente por los hidrólogos de la IRD y los servicios hidrológicos nacionales en los tres países, con el fin de estimar los caudales. En Bolivia, el equipo HYBAM IRD / SENAMHI benefició del apoyo de la marina boliviana, la única institución que disponía de capacidades de navegación sobre el rio Mamoré en condiciones de crecida histórica.

Los niveles de agua de los ríos amazónicos son estimados por satélite desde el 2002, gracias a la introducción de la altimetría espacial por el observatorio HYBAM en la región. El observatorio HYBAM proporciona las herramientas de hidrología espacial, en forma de software automatizado desarrollado por el IRD, y las transfiere a los servicios hidrológicos de la región. Este método permitió asegurar el monitoreo del nivel de los ríos en el contexto de difícil acceso creado por la crecida. Excepcionalmente a petición de la red HYBAM y de Jean-Michel Martinez, el satélite Jason-2 fue reprogramado en marzo por la Agencia Espacial Francesa y la NOAA, con el fin de monitorear la crecida en la zona fronteriza Bolivia / Brasil.

Un trabajo del Instituto de Geofísica del Perú (IGP), que entre otras investigaciones se dedica al análisis regional del clima, indica que esta crecida no está vinculada a ningún episodio del fenómeno

climático ENSO, como fue el caso en 2009 y 2012 en crecidas de gran amplitud que tocaron otras partes de la cuenca Amazónica (Espinoza et al., sometido). En efecto en 2014, no se detectó ninguna anomalía de temperatura en el Pacífico. Sin embargo, el aumento de la frecuencia de fenómenos hidrológicos extremos en diferentes regiones de la cuenca del Amazonas durante estos últimos diez años (sequias sin precedente en 2005 y 2010, fuertes lluvias e inundaciones históricas en 2009 y 2012) llama la atención a los hidrólogos amazónicos. Los cambios medioambientales regionales y globales podrían así tener consecuencias sobre el rio más grande del mundo.

Objetivos del estudio

La crecida excepcional observada a partir de Enero 2014 en la cuenca del rio madera en Bolivia ha afectado duramente a las regiones de Oriente. En algunas ocasiones, los medios de comunicación bolivianos han acusado las represas brasileñas sobre el rio Madera de ser responsables de un aumento de las inundaciones en Bolivia. El presente documento trata de aclarecer, en su primera parte, si las represas del rio Madera son responsables o no de un aumento de los niveles en Bolivia, y de proporcionar, en sus partes dos y tres, las informaciones relevantes sobre los caudales y las lluvias que fueron observados en la red amazónica de Bolivia. El documento se basa:

- en las series de datos históricos en Bolivia y Brasil, actualizadas hasta el 10 de abril del 2014 gracias a los esfuerzos de la ANA y del SENAMHI.

- en las mediciones de caudal y de nivelación de las escalas realizadas en Bolivia durante la crecida, gracias a la cooperación IRD – SENAMHI y con apoyo de la fuerza naval de Bolivia, en las dos comisiones de febrero y marzo del 2014.

- en las mediciones de caudal realizadas a solicitud de la ANA en Brasil por la CPRM, en Porto Velho y Abuná.

- en las mediciones de los niveles de agua en estaciones virtuales por medio de técnicas satelitales desarrolladas en el marco del programa HYBAM.

1. Efecto de las represas brasileñas sobre los niveles del rio Madera en Bolivia

En los últimos años, Brasil ha construido sobre el rio Madera dos unidades de producción hidroeléctrica, en Santo Antonio (inmediatamente aguas arriba de Porto Velho) y en Jirau (a unos 135 kilómetros aguas abajo de la confluencia del rio Madera con el rio Abuná), ver figura 1. En forma evidente, la única represa que pueda tener un efecto sobre los niveles del rio Madera en Bolivia es la represa de Jirau, que es la más cerca de la frontera. Uno de los efectos de la represa de Jirau es de aumentar localmente los niveles del rio Madera, a fin de disponer de un desnivel para producir energía eléctrica. Por lo tanto, es válido preguntarse si el aumento de nivel provocado en la represa de Jirau puede tener un efecto en el territorio boliviano.

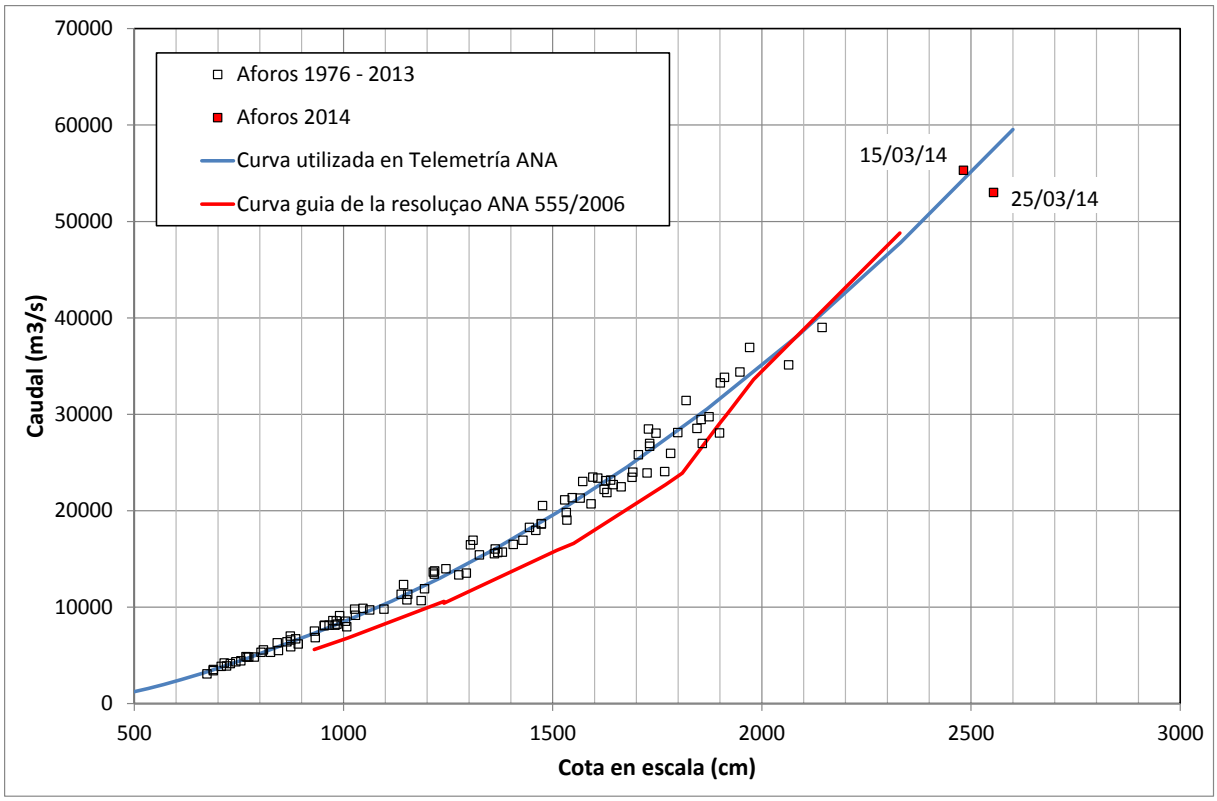
Figura 1: mapa de ubicación de las represas brasileras

Cabe notar que dicha pregunta ha sido planteada por los constructores desde los estudios de factibilidad de la represa de Jirau, y en ausencia de un acuerdo binacional entre Bolivia y Brasil, **los promotores del proyecto optaron por la no inundación del territorio boliviano** (Molina et al., 2008). Esta opción queda expresada por la resolución ANA 555/2006 de la Agencia Nacional del Agua de Brasil (presentada en anexo 2), que en su artículo 4° define que "**el nivel de agua normal del reservatorio deberá variar acompañando las condiciones naturales del rio Madera, observando la curva guía definida abajo, evaluada anualmente, y respectando los niveles de agua necesarios para garantizar el transporte de balsas en Abuná y el mantenimiento de los usos múltiples del agua**". Se puede lamentar que la resolución no expresa muy claramente en cual forma la curva guía (presentada en la figura 2) debe ser observada, y con cual desviación aceptable. Veremos a continuación en la parte 1.1 si los caudales observados durante la crecida han respetado la curva guía. En todo caso, la existencia de una resolución al respecto nos indica que la represa de Jirau puede tener el efecto de aumentar los niveles en la estación de Abuná, ubicada en la frontera Bolivia - Brasil, y es lo que vamos a analizar en primer lugar.

1.1 Análisis de la curva de descarga de Abuná en la crecida 2014

Según informaciones de la ANA, durante la crecida 2014, la CPRM hizo 2 aforos en la estación de Abuná, los días 15 y 25 de marzo, con acceso en helicóptero el día 25. Lamentablemente en Bolivia, la comisión IRD – SENAMHI del mes de marzo no logró llegar a Abuná, por falta de medio de transporte. Después de consultar con la Fuerza Naval de Bolivia, se consideró que el rio aguas debajo de Guayaramerín no era navegable en buenas condiciones, y que no se tenían las condiciones logísticas y el tiempo para ir a Abuná. La figura 2 presentada a continuación muestra las mediciones de caudal realizadas en Abuná por la parte brasileña, y como se comparan a las mediciones anteriores y a la famosa curva guía.

Figura 2: Curva de descarga de la estación de Abuná, y posición de los aforos 2014



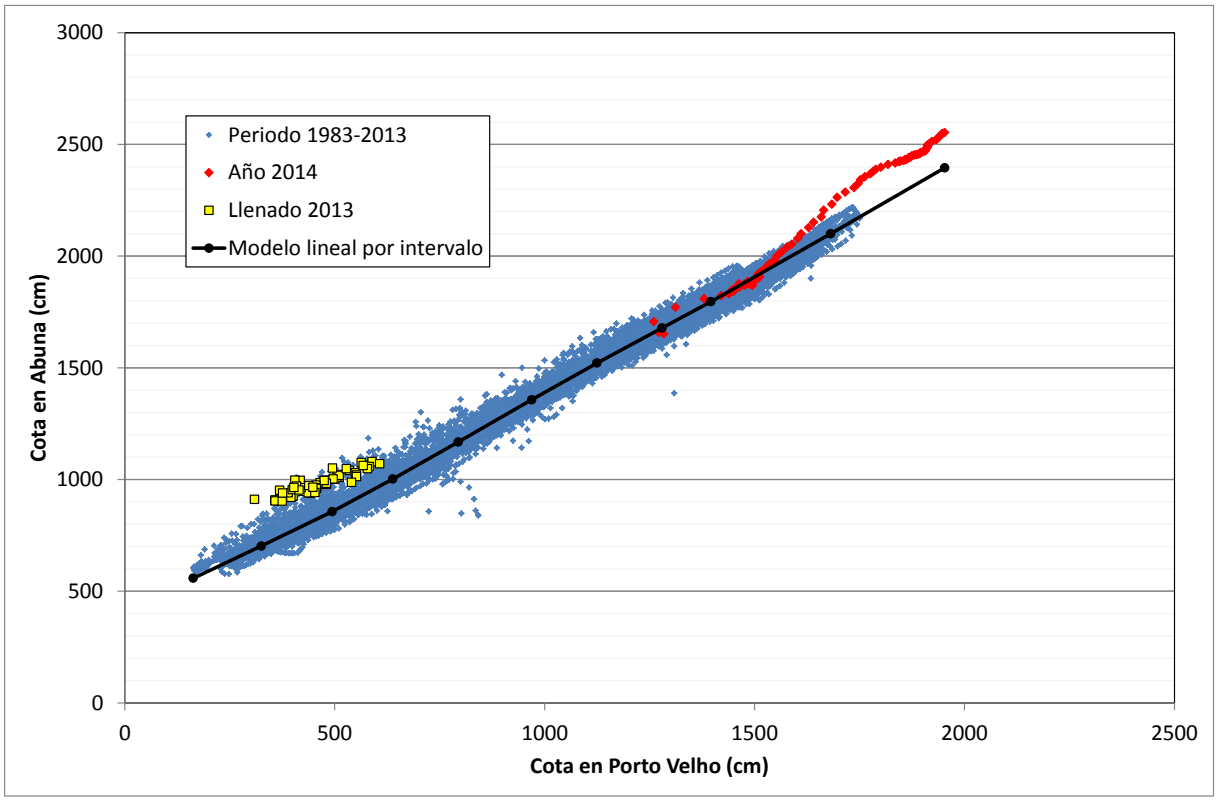
Por la dispersión de los aforos, no se puede tener un trazado exacto e indiscutible de la curva de descarga de Abuná en condiciones naturales (tal como era antes de la construcción de la represa de Jirau), especialmente para niveles superiores a 2000 cm para las cuales la curva se puede considerar como extrapolada. Sin embargo, podemos considerar que la curva azul, elaborada por la ANA/CPRM de Brasil para convertir los niveles de la telemetría a caudales da una representación aceptable de las condiciones naturales. En referencia a dicha curva de descarga azul, observamos que en primera aproximación, los aforos de la crecida 2014 no muestran un cambio indiscutible en la curva de descarga. El aforo del 15/03/14 parece confirmar la curva, cuando al contrario el aforo del 25/03/14, realizado aguas abajo de la confluencia Beni – Mamoré con una técnica apropiada (ADCP RDI 600 KHz con referencia GPS), parece un poco bajo y podría indicar una sobreelevación de los niveles de alrededor de un metro en referencia a las condiciones naturales. Pero los aforos de la crecida 2014 no permiten afirmar, en forma conclusiva, si hubo o no una modificación de los niveles del río Madera en Abuná.

Hemos puesto en el gráfico de la figura 2 la curva guía mencionada en la resolución de la ANA, tomando en cuenta un nivel cero de la escala de Abuná a 74.4 metros como aconsejado por la ANA para convertir las altitudes en niveles en la escala de Abuná. A pesar de que no aparezca bien claramente en la resolución ANA 555/2006, podemos entender que la curva guía constituye una especie de límite inferior que se debería respectar para las mediciones de caudal en Abuná. En teoría, cuando una medición de caudal se ubica por debajo de la curva, los operadores de la UHE Jirau deberían abrir sus compuertas para bajar el nivel del rio, y hacer que la medición se mantenga por encima de la curva guía. Durante la crecida 2014, si bien podemos ver que las mediciones de caudal se ubican en una zona para la cual la curva guía no se ha dibujado, queda patente que las mediciones están por debajo de la extrapolación de la curva guía.

1.2. Análisis de las relaciones entre las cotas en Abuná, las cotas en Porto Velho y la suma de caudales en Cachuela Esperanza y Guayaramerín

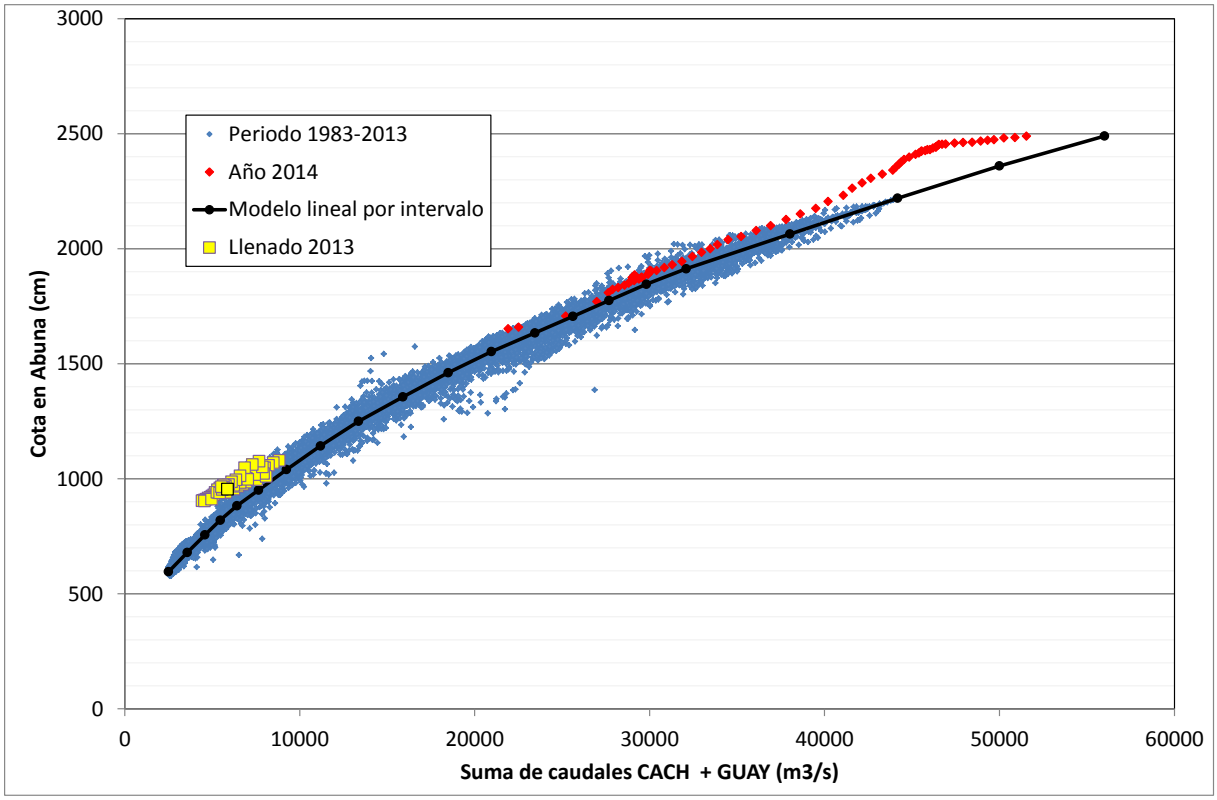
Hemos ilustrado en los gráficos siguientes la relación entre las cotas en Abuná, y las cotas en Porto Velho o la suma de los caudales en Cachuela Esperanza y Guayaramerín. Obtenemos las relaciones siguientes:

Figura 3: Relación entre las cotas en Abuná y las cotas en Porto Velho



La figura 3 muestra la relación entre las cotas en Abuná y las cotas en Porto Velho. Se puede identificar una relación “promedio” representada por el modelo lineal por intervalo. Los puntos aislados que se alejan de la tendencia central corresponden generalmente a errores en una de las series. Podemos notar que en el año 2014 la relación se aleja notablemente de la tendencia general para cotas en Abuná superiores a 2000 cm, y muestra una sobreelevación de los niveles en Abuná de un poco más de un metro, comparado con lo que se podía prever.

Figura 4: Relación entre las cotas en Abuná y la suma de los caudales de Cachuela Esperanza y Guayaramerín.



La figura 4 muestra la relación entre las cotas en Abuná y la suma de caudales de Cachuela Esperanza y Guayaramerín. Se puede identificar una relación "promedio" representada por el modelo lineal. Los puntos aislados que se alejan de la tendencia central corresponden generalmente a errores en una de las series. Podemos notar que la relación en el año 2014 se aleja notablemente de la tendencia general, y muestra una sobreelevación de los niveles en Abuná de un poco más de un metro., comparado con lo que se podía prever.

Las figuras 3 y 4 muestran también una sobreelevación de los niveles en Abuna durante el llenado de la represa, de agosto a noviembre 2013 (puntos amarillos).

En conclusión, los análisis de las cotas de Abuná en función de los datos de las estaciones vecinas nos muestran para el año 2014 una sobreelevación de un poco más de un metro comparado con lo que se podía prever des los datos anteriores. Este aumento de las cotas se debe muy probablemente al efecto de remanso de la represa Jirau.

1.2 Análisis de las posibilidades de un efecto de la represa de Jirau en los niveles de las estaciones de Cachuela Esperanza y Guayaramerín

Análisis de las pendientes

Los ríos Beni y Mamoré aguas abajo de las estaciones de Cachuela Esperanza y Guayaramerín presentan pendientes fuertes, por lo que se observan en su curso varias cachuelas y rápidos. Lo mismo pasa con el rio Madera, que presenta 3 cachuelas entre su inicio (confluencia Beni – Mamoré) y la estación de Abuná. Por lo tanto, parece muy poco probable que un efecto de remanso que ocasiona una elevación de cota de solo un metro en Abuná pueda propagarse hasta las estaciones bolivianas de Cachuela Esperanza y Guayaramerín. Para argumentar sobre este punto, presentaremos a continuación datos de niveles en msnm en las estaciones del mapa de la figura 5.

Figura 5: Mapa de las estaciones hidrométricas y virtuales del rio Madeira

La figura 6 muestra los perfiles de pendientes entre las estaciones de Puerto Siles (Rio Mamoré, Bolivia) y Humaitá (Rio Madera, Brasil), y la figura 7 muestrea un detalle de la anterior.

Figura 6: Perfil de nivel de Puerto Siles a Humaita.

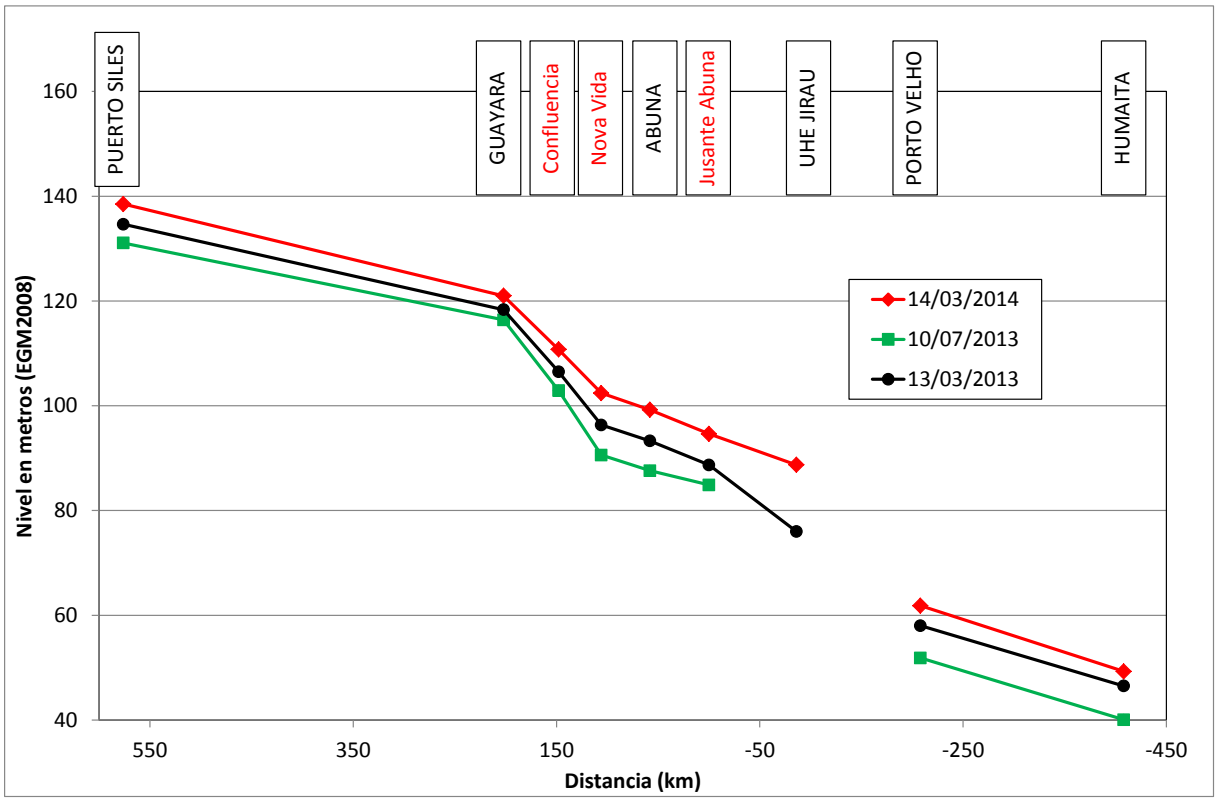
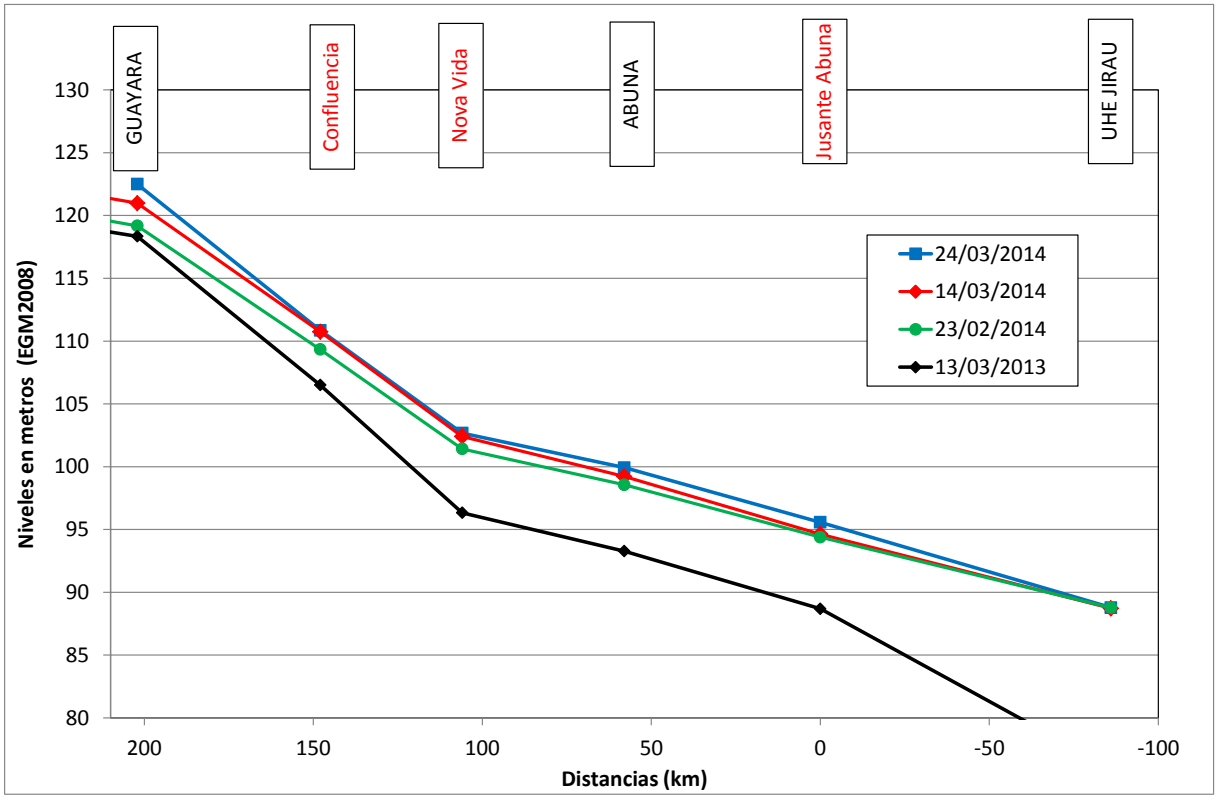


Figura 7: Perfil de nivel Guayaramerín a UHE Jirau.



En ambas figuras se usan a la vez para los niveles informaciones satelitales y terrestres, las etiquetas rojas representan estaciones virtuales satelitales, y las etiquetas negras son estaciones hidrométricas. Los niveles son expresados en el sistema de nivelación EGM2008. Los niveles de las estaciones hidrométricas se obtuvieron por nivelación de los ceros de las escalas con GPS por duraciones de más de 24 horas. Las cotas de las estaciones virtuales se obtuvieron por medio del satélite JASON.

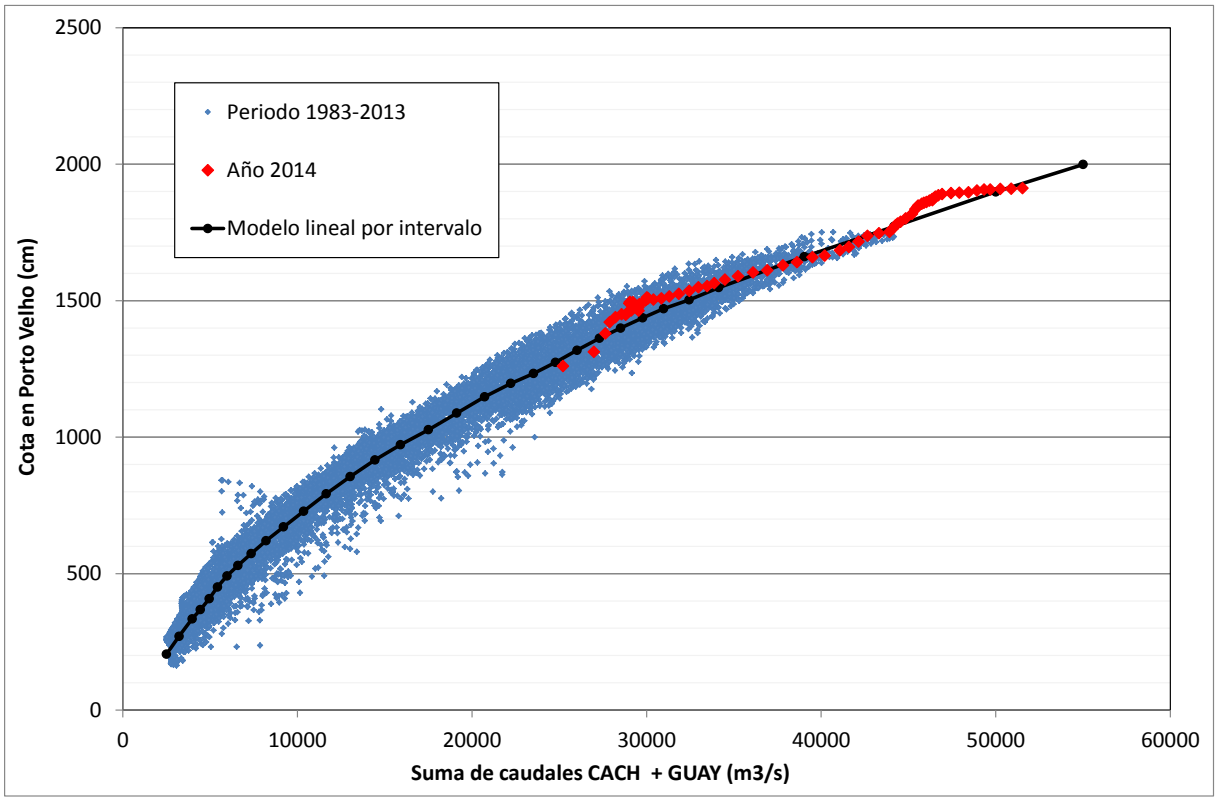
En aguas altas, la figura 6 muestra tres tramos de pendientes relativamente suaves, de orden de 5 a 8 cm/km, entre Puerto Siles y Guayaramerín, entre Nova Vida y UHE Jirau, y entre Porto Velho y Humaíta. Estos tres tramos son separados por dos tramos de pendientes fuertes, entre Guayaramerín y Nova Vida, y entre UHE Jirau y Porto Velho, con respectivamente 20 y 22 cm/km.

La figura 7 muestra un detalle de la figura 6. En ambas figuras podemos notar que aguas arriba de Abuná, los perfiles longitudinales observados durante la crecida 2014 quedan bien paralelos al perfil longitudinal de la crecida 2013, con la misma ruptura de pendiente a nivel de Nova Vida. De Nova Vida a UHE Jirau, la pendiente más suave se debe sin duda al remanso de la represa de Jirau. Entre Nova Vida y la confluencia Beni – Mamoré, la pendiente fuerte de 20 cm/km que se observaba antes de la construcción de la represa de Jirau (como durante la crecida 2013), se mantiene después de su construcción. La persistencia de esta fuerte pendiente durante la crecida 2014 hace imposible una influencia del remanso de Jirau aguas arriba de la confluencia Beni - Mamoré.

Análisis de la relación entre la suma de caudales Cachuela + Guayara y las cotas en Porto Velho

La figura 8 muestra la relación entre las cotas en Porto Velho y la suma de caudales de Cachuela Esperanza y Guayaramerín. Se puede identificar una relación "promedio" representada por el modelo lineal por intervalo. Los puntos que se alejan mucho de la tendencia central corresponden generalmente a errores en una de las series, y las pequeñas desviaciones se deben a variaciones de los aportes de la cuenca intermedia. Podemos notar que en el año 2014, la relación entre las cotas de Porto Velho y los caudales de las estaciones bolivianas se mantiene estable, y que no ha sido afectada por los fenómenos de almacenamiento o vaciado en las represas de Jirau y de Sao Antonio.

Figura 8: Relación entre cotas de Porto Velho y caudales de Cachuela Esperanza y Guayaramerín



Análisis de las zonas de rápidos entre las estaciones de Cachuela y Guayara y Nova Vida

En las dos comisiones conjuntas IRD – SENAMHI que se hicieron en febrero y marzo, los ingenieros Oscar Fuertes y Franck Timouk notaron que no era posible navegar aguas abajo de las estaciones de Cachuela Esperanza y de Guayaramerín, porque las cachuelas o rápidos se habían mantenido a pesar de las aguas altas. Es por esta falta de navegabilidad que en marzo no pudieron ir a la estación de Abuná como se había previsto. La presencia de rápidos o cachuelas significa que el régimen de flujo pasa de subcrítico (o fluvial) a supercrítico (o torrencial). Una de las reglas bien conocidas de la hidráulica menciona que en una sección de flujo supercrítico, el nivel del rio depende únicamente de las condiciones aguas arriba, y no puede depender en ninguna forma de las condiciones aguas abajo. **Por lo tanto la presencia de rápidos en los ríos Beni y Mamoré aguas abajo de las estaciones de Cachuela Esperanza y Guayaramerín descarta en forma absoluta la posibilidad de que sus niveles hayan sido influenciados por la represa de Jirau**.

1.3 Conclusiones sobre un posible efecto de las represas sobre las inundaciones en Bolivia

De lo anterior, podemos sacar las conclusiones siguientes:

- Durante la crecida del 2014, hemos detectado un efecto de la represa Jirau sobre los niveles en la estación de Abuná. Del análisis de las relaciones entre las cotas de Abuná con las cotas o los caudales de las estaciones vecinas, podemos deducir que el nivel en Abuná aumentó de más o menos un metro en relación al nivel que hubiera tenido en ausencia de la represa de Jirau, lo que en porcentaje representa un aumento de 6% a 9%. El aumento de nivel en porcentaje puede parecer poco, pero un aumento de un metro de nivel puede representar una superficie inundada muy importante que sería bueno evaluar en forma precisa.
- El aumento de los niveles en la región de Abuná es coherente con las conclusiones del precedente estudio de curva de remanso y sedimentación (Molina et al. , 2008).
- Por causa del aumento de las pendientes a partir de la población de Nova Vida, es muy improbable que el efecto de remanso de la represa de Jirau se extienda aguas arriba de la confluencia Beni – Mamoré.
- El análisis de la relación entre los niveles de Porto Velho y la suma de los caudales de Cachuela Esperanza y Guayaramerín muestra que la relación se ha mantenido estable en el año 2014. Eso nos indica que las represas no tuvieron un efecto notable de regulación de los caudales.
- Acorde a las leyes de la hidráulica, la presencia de cachuelas y rápidos observadas en los ríos Beni y Mamoré abajo de las estaciones de Cachuela Esperanza y Guayaramerín impide toda posibilidad de que el remanso de la represa de Jirau haya aumentado los niveles en dichas estaciones.
- Por todas estas razones, las inundaciones en las llanuras del Beni en Bolivia no se pueden atribuir a las represas brasileñas del rio madera. Estas inundaciones se deben a las lluvias excepcionalmente intensas que ocurrieron tanto en la cordillera como en los llanos, desde diciembre hasta mediados de febrero, como aparecerá en la parte 3.

2. Observaciones sobre los caudales observados en la crecida 2014 en Bolivia

La red hidrométrica de Bolivia en la cuenca del rio Madera ha sido instalada o rehabilitada por los programas PHICAB (de 1984 a 1991) o HYBAM (desde 1995), en el marco de una colaboración entre el IRD y el SENAMHI. Se puede ver la localización de las principales estaciones en la figura 9. Durante la crecida 2014, los caudales observados han sido excepcionales en todas las estaciones de la cuenca del rio Madera, que sea a la salida de la cordillera de los Andes o en la llanura. Es remarcable que en todas las estaciones de la cuenca, la crecida 2014 es sin duda la más fuerte jamás observada. La tabla 1 presentada a continuación muestra para cada estación los caudales máximos observados en 2014 sobre duraciones de 11, 21 y 31 días, y los compara con los caudales de lo que era la crecida máxima observada antes del año 2014.

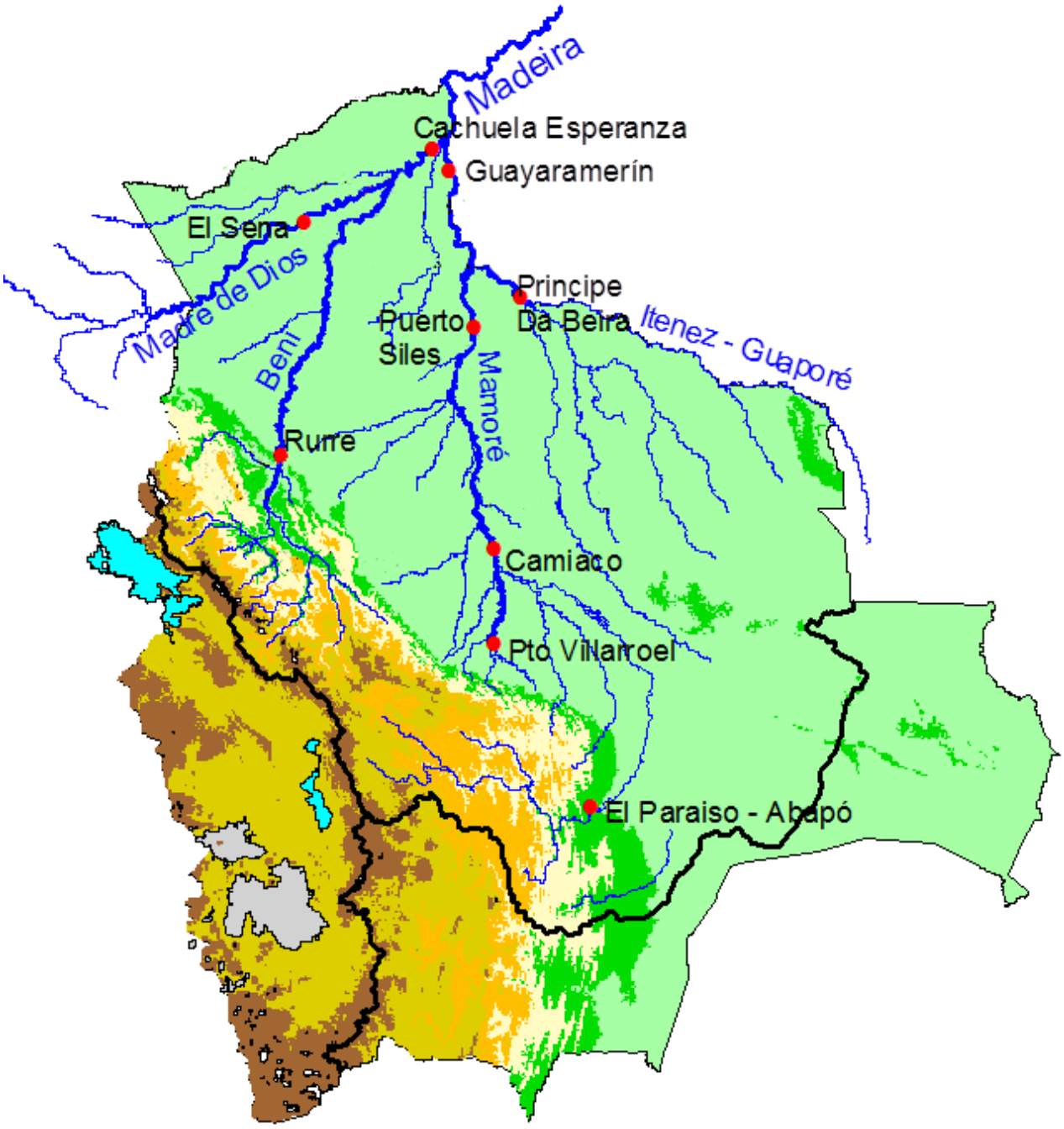
Tabla 1: comparación de la crecida del año 2014 con la crecida más fuerte del periodo anterior a 2014
El *% de exceso* es el aumento de caudal entre la crecida más fuerte disponible antes del 2014, y la crecida 2014

			Caudales maximos de la Crecida 2014, por duracion			% de exceso de la crecida 2014 sobre la segunda crecida			Caudales maximos y año de la crecida mas fuerte antes de 2014, por duracion					
Río	Estación	Periodo	en 11 dias (m3/s)	en 21 dias (m3/s)	en 31 dias (m3/s)	en 11 dias	en 21 dias	en 31 dias	en 11 dias (m3/s)	Año	en 21 dias (m3/s)	Año	en 31 dias (m3/s)	Año
Río Beni	Rurrenabaque	1967-2014	15300	13800	11200	20%	34%	23%	12800	1968	10300	2011	9100	2011
Rio Madre de Dios	El Sena	2004-2014	17800	17200	16300	26%	27%	23%	14100	2008	13500	2008	13200	2008
Rio Ichilo	Puerto Villarroel	1985-2014	2340	2450	2210	6%	26%	19%	2210	2008	1950	2007	1850	2007
Rio Mamoré	Camiaco	1986-2014	5630	5500	5340	1%	1%	1%	5550	1992	5450	1992	5280	1992
Rio Mamoré	Guayaramerín	1983-2014	29550	29350	28600	31%	32%	30%	22500	2008	22290	2008	22000	2008
Rio Beni	Cachuela Esperanza	1983-2014	30100	29800	29300	20%	22%	23%	25000	1986	24400	1986	23800	1986
Rio Madera	Porto Velho	1967-2014	57560	57250	56850	25%	26%	26%	45890	1997	45440	1984	45190	1984

La tabla 1 nos muestra que en todas las estaciones menos la de Camiaco, la crecida 2014 ha mostrado caudales superiores de 20% a 30% a los observados en la máxima crecida histórica. La excepción de Camiaco podría deberse a un desnivel en las escalas, será necesario controlar las escalas de esta estación.

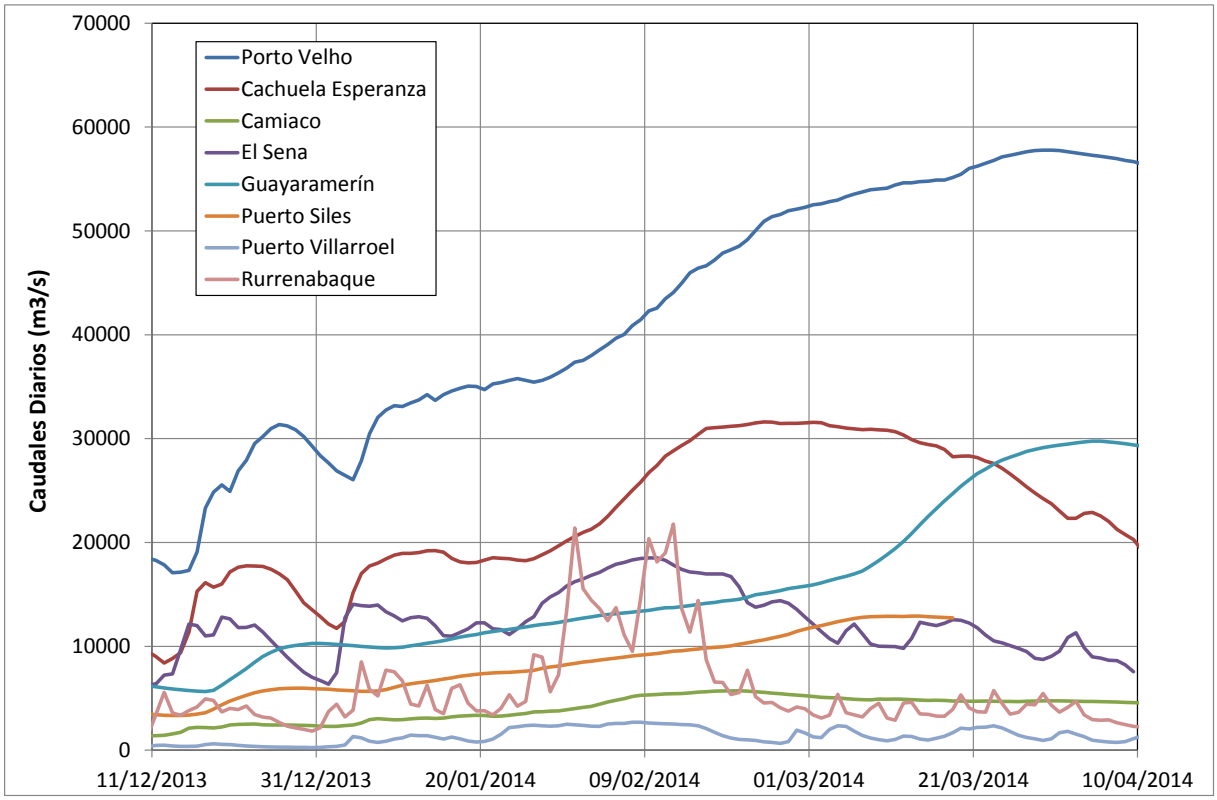
Podemos ver que en la estación brasileña de Porto Velho en el rio Madera, la crecida 2014 excede la crecida máxima anterior a 2014 en forma similar a lo observado en las estaciones bolivianas. Eso nos confirma que las represas brasileñas del rio Madera no han tenido ningún efecto regulador sobre los caudales en Porto Velho.

Figura 9: Mapa de las estaciones hidrométricas de la cuenca del rio Madera en Bolivia



La figura 10 muestra los caudales observados en las estaciones durante la crecida 2014. Se puede notar como los caudales se han propagado desde las estaciones de pie de monte (Rurrenabaque, Puerto Villarroel, El Sena) hacia las estaciones de la zona fronteriza (Cachuela Esperanza, Guayaramerín). En las estaciones de pie de monte, la crecida es bastante precoz y ocurre durante la primera quincena de febrero. La crecida se propaga más rápidamente en la cuenca del rio Beni, donde los niveles máximos ocurrieron a principio de marzo, que en la cuenca del rio Mamoré, donde los caudales máximos aún no se han alcanzado a final de marzo.

Figura 10: Caudales diarios observados en las principales estaciones de la cuenca del rio Madera

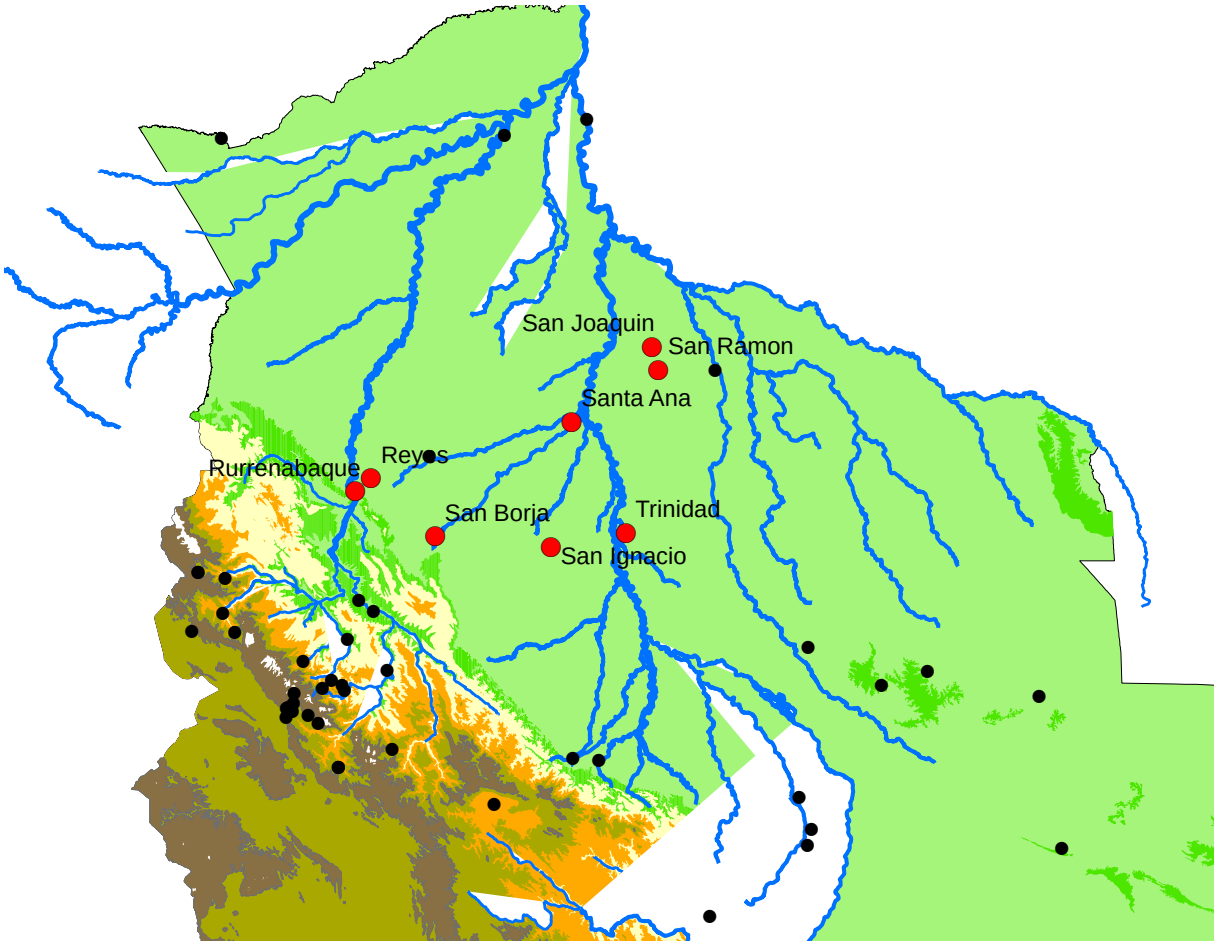


Para mejor ilustración de la crecida del 2014, presentamos en el anexo 1 los gráficos de las 4 crecidas más fuertes observadas en cada una de las estaciones. Los gráficos permiten ver a cual punto la crecida 2014 es excepcional.

3. Observaciones sobre las lluvias responsables de la crecida 2014 en Bolivia

El SENAMHI monitorea los datos climatológicos de las estaciones de la cuenca del rio Madera. Presentamos en la figura 11 aquí abajo las estaciones para las cuales fue posible tener datos de lluvia actualizados hasta febrero del 2014, son generalmente estaciones de los aeropuertos y de ciudades con buenos medios de comunicación. Los datos muestran precipitaciones abundantes para los meses de enero y febrero del 2014, especialmente en los llanos del Beni.

Figura 11: Mapa de las estaciones pluviométricas (puntos negros). Las estaciones con pluviosidad excepcional en enero y febrero 2014 son resaltadas en color rojo.



Para ilustrar mejor la abundancia de las lluvias en los llanos del Beni, hemos usado el método del vector regional de precipitaciones incluido en el software Hydraccess (Vauchel, 2003). Este método tiene la ventaja de caracterizar la variación de la precipitación a nivel regional, basándose en un conjunto de estaciones de una zona geográfica. Calcula para una región un índice de pluviosidad: el índice es inferior a 1 cuando la precipitación de un año es inferior al promedio, y es superior a 1 cuando la precipitación de un año excede al promedio. A consecuencia, el vector regional nos indica en cuales proporciones un año ha presentado déficit o exceso de precipitación, para la región considerada. El método se ha aplicado a los datos de precipitación disponibles en las estaciones para los meses de enero (figura 12) y de febrero (figura 13).

Figura 12: Vector regional de índices anuales de los meses de Enero.

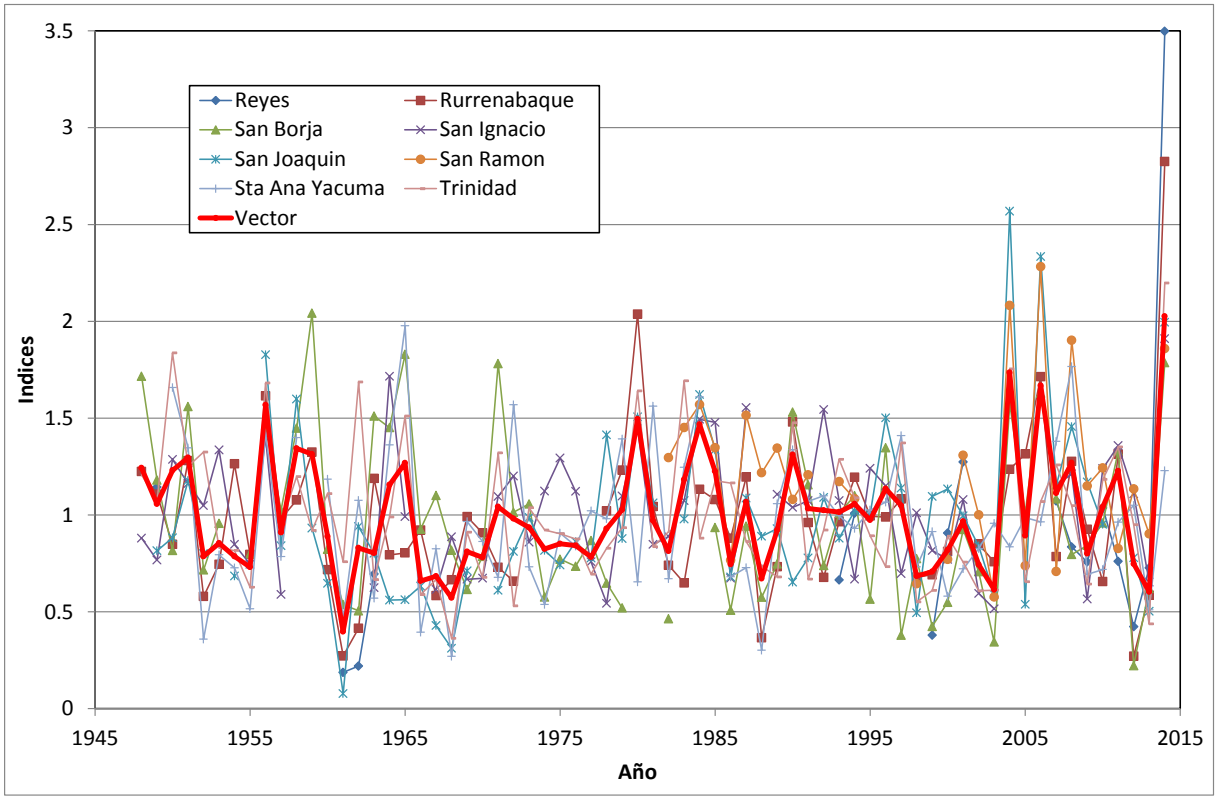
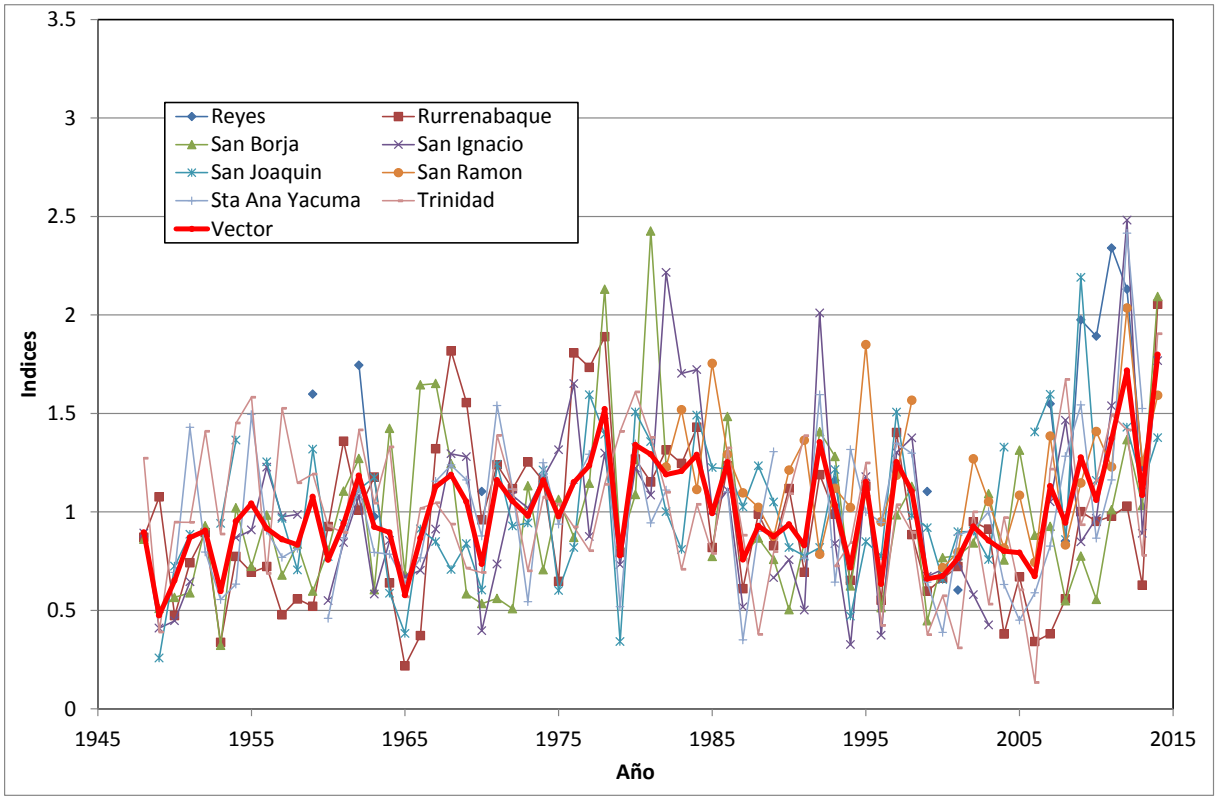


Figura 13: Vector regional de índices anuales de los meses de Febrero.



En ambas figuras, la línea de color rojo representa la variación promedio de la pluviosidad a lo largo de los años, para toda la región y en el mes concernido. Las líneas de otros colores representan los índices de cada estación, que pueden presentar desviaciones al promedio. Las desviaciones entre el vector regional y los índices de cada estación se deben a las variaciones locales de la pluviometría.

El análisis por método del vector regional nos muestra que **tanto el mes de enero como el mes de febrero 2014 han sido los más fuertes en la región concernida sobre todo el periodo 1948-2014**. En enero, la precipitación ha alcanzado 2 veces el valor promedio regional, y en febrero la precipitación es de 1.8 del valor promedio. **Es el hecho de tener dos meses seguidos con una pluviosidad de casi el doble del valor promedio, a nivel no sólo de una estación sino de una vasta región, que ha dado su carácter excepcional a la crecida del 2014**.

Este análisis de la precipitación es todavía parcial y no pretende ser exhaustivo, sin duda con el tiempo van a llegar más datos que permitirán un análisis más a fondo de las precipitaciones que ocasionaron la crecida del 2014. Nos faltan por ejemplo a la fecha los datos de precipitación de la cuenca del rio Madre de Dios en Perú para pretender cubrir toda la cuenca del rio Madera. Pero en primer análisis, podemos decir que **son las precipitaciones excepcionalmente fuertes en las llanuras del Beni que son responsables de la intensidad de la crecida del 2014.**

Anexo 1: Crecidas excepcionales en las estaciones

Figura 14: crecidas excepcionales del rio Beni en Rurrenabaque sobre el periodo 1967-2014

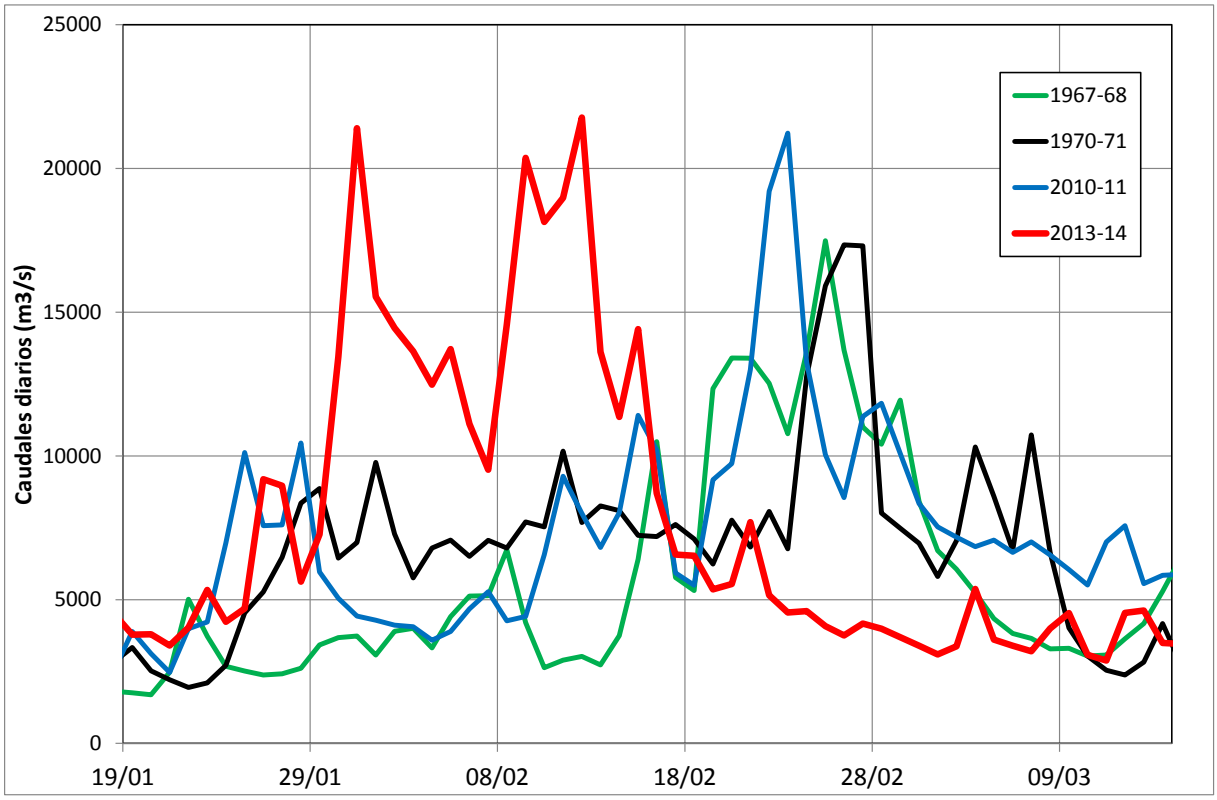


Figura 15: crecidas excepcionales del rio Madre de Dios en El Sena sobre el periodo 2004-2014

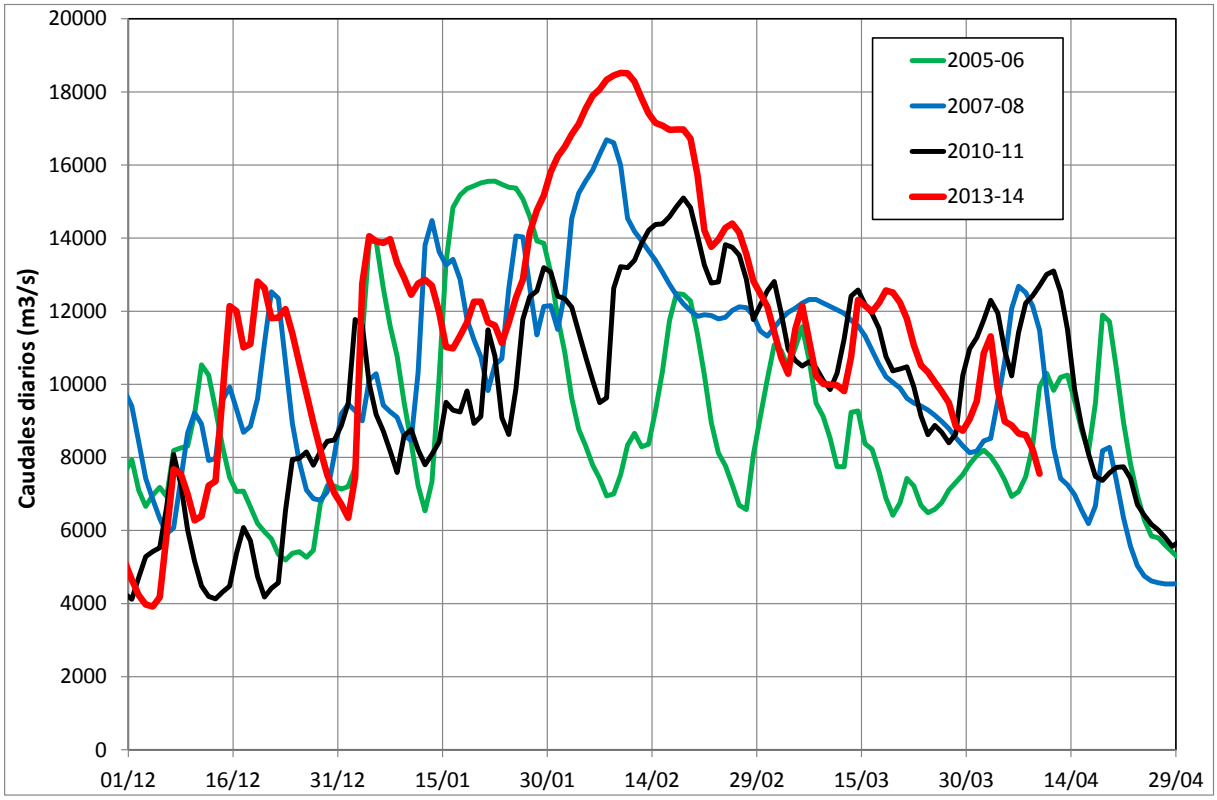


Figura 16: crecidas excepcionales del rio Ichilo en Puerto Villarroel sobre el periodo 1985-2014

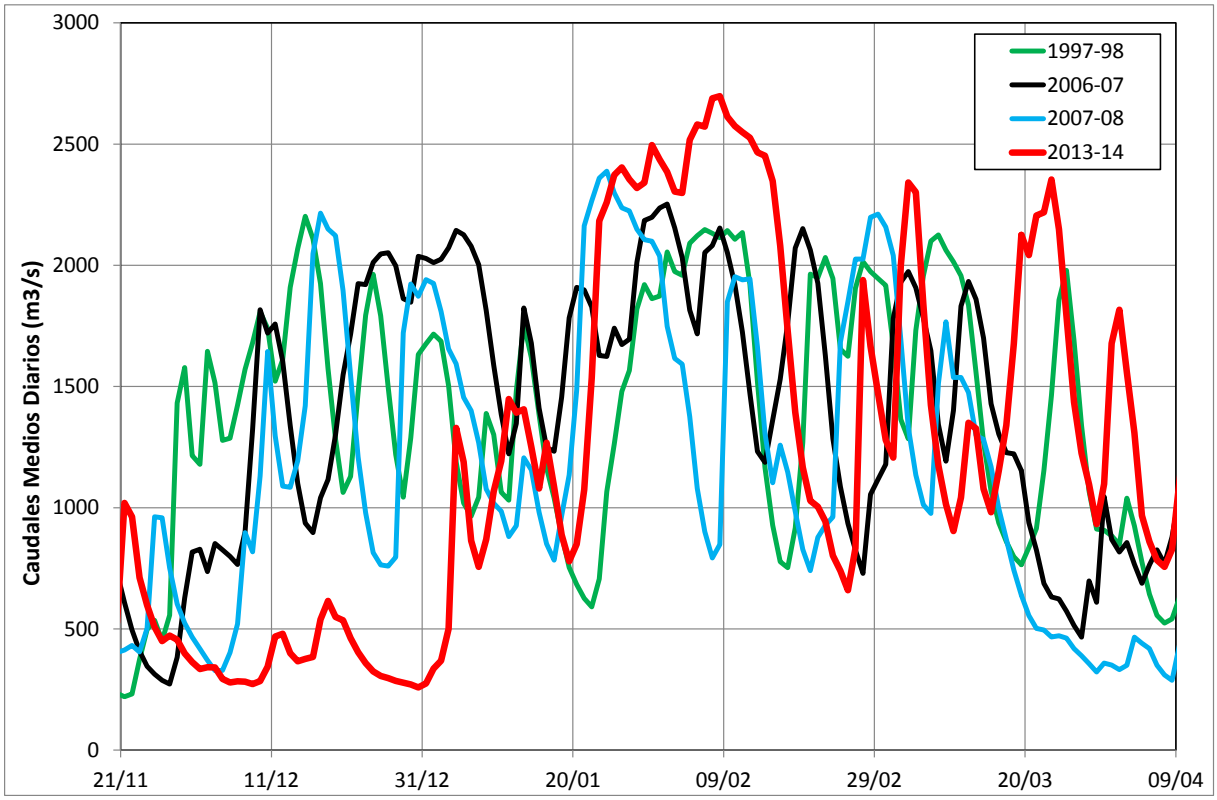


Figura 17: crecidas excepcionales del rio Mamoré en Camiaco sobre el periodo 1986-2014

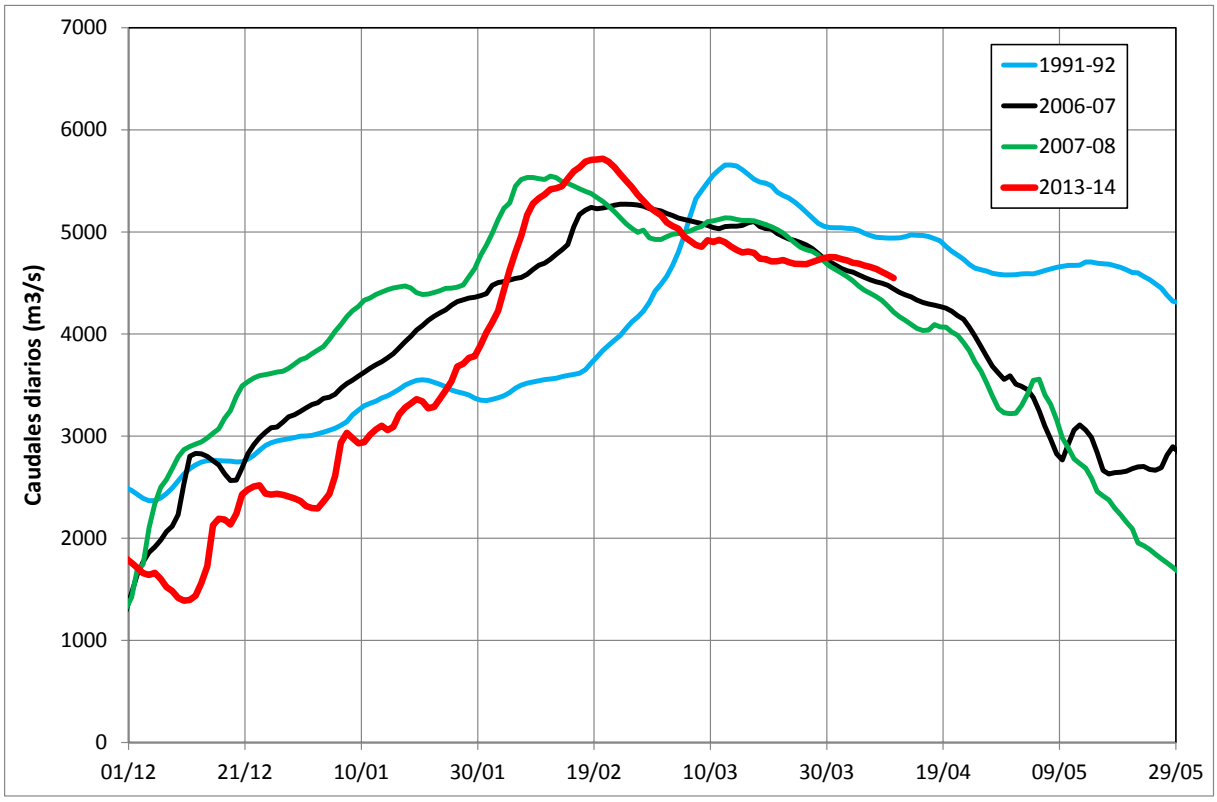


Figura 18: crecidas excepcionales del rio Beni en Cachuela Esperanza sobre el periodo 1983-2014

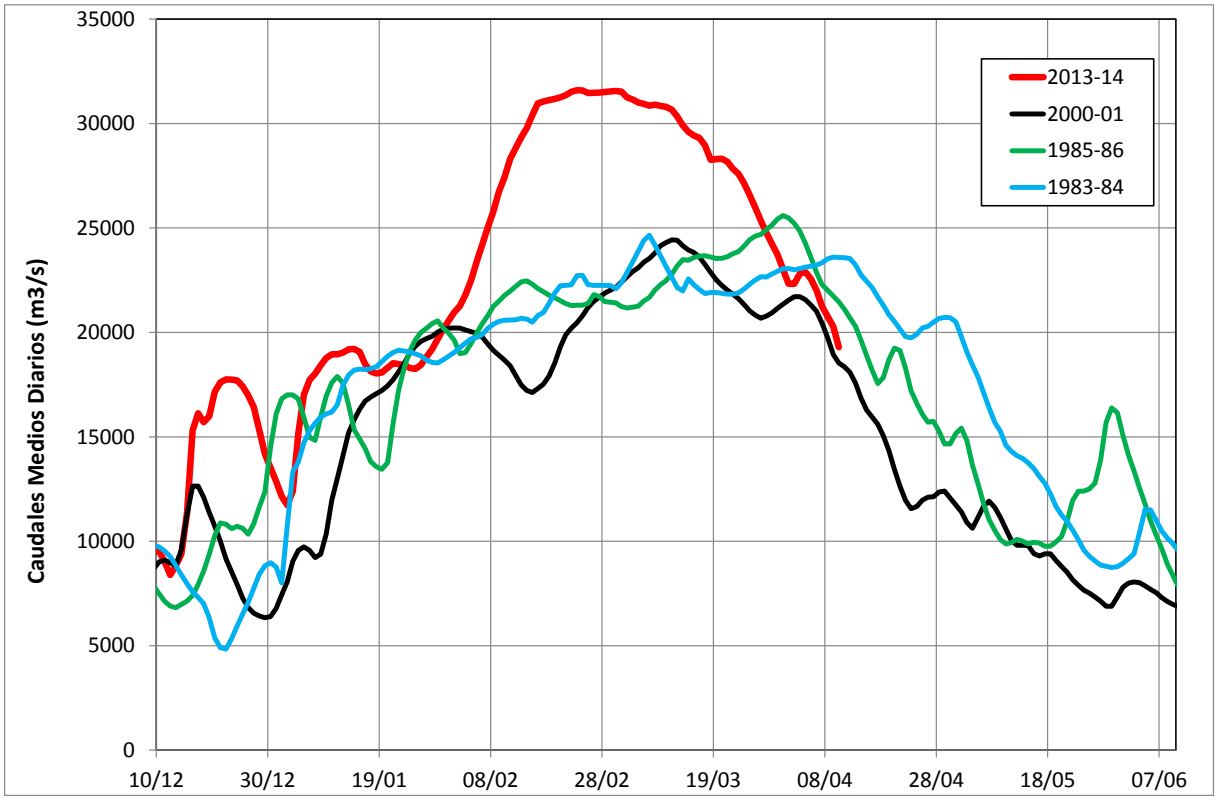


Figura 19: crecidas excepcionales del rio Mamoré en Guayaramerín sobre el periodo 1983-2014

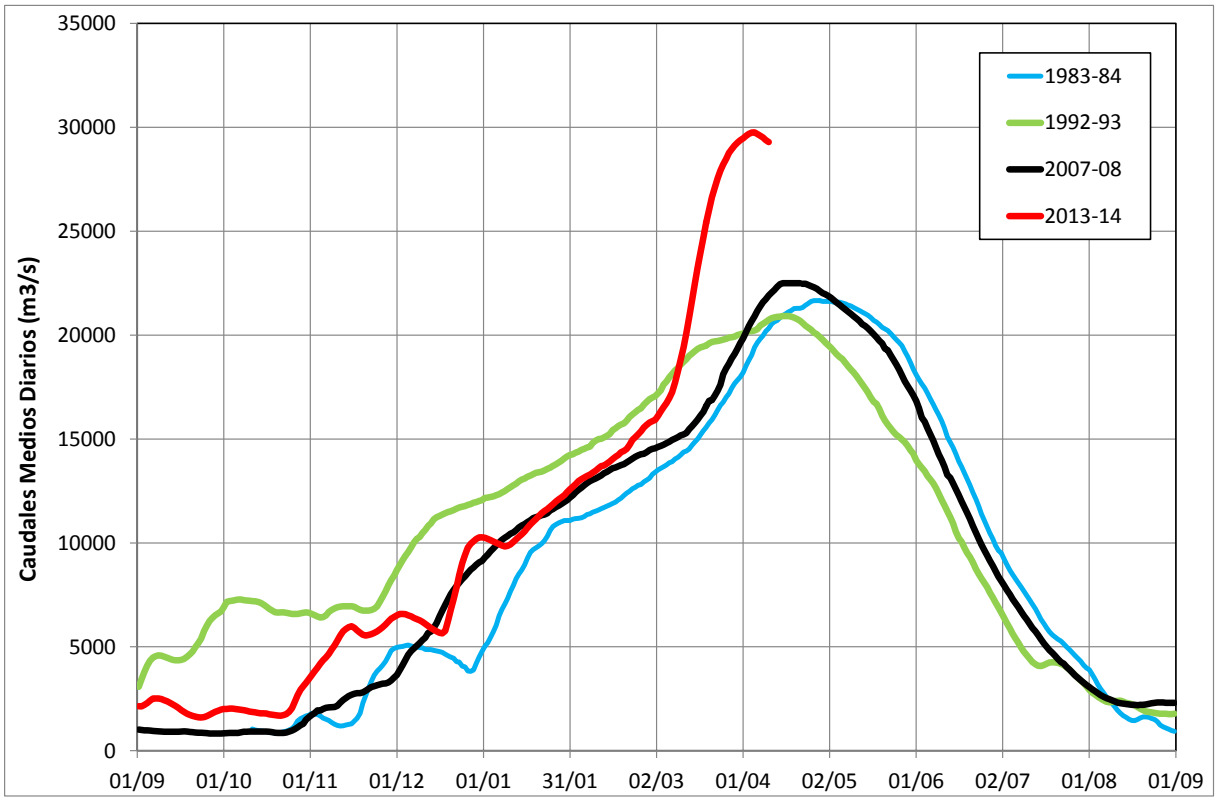
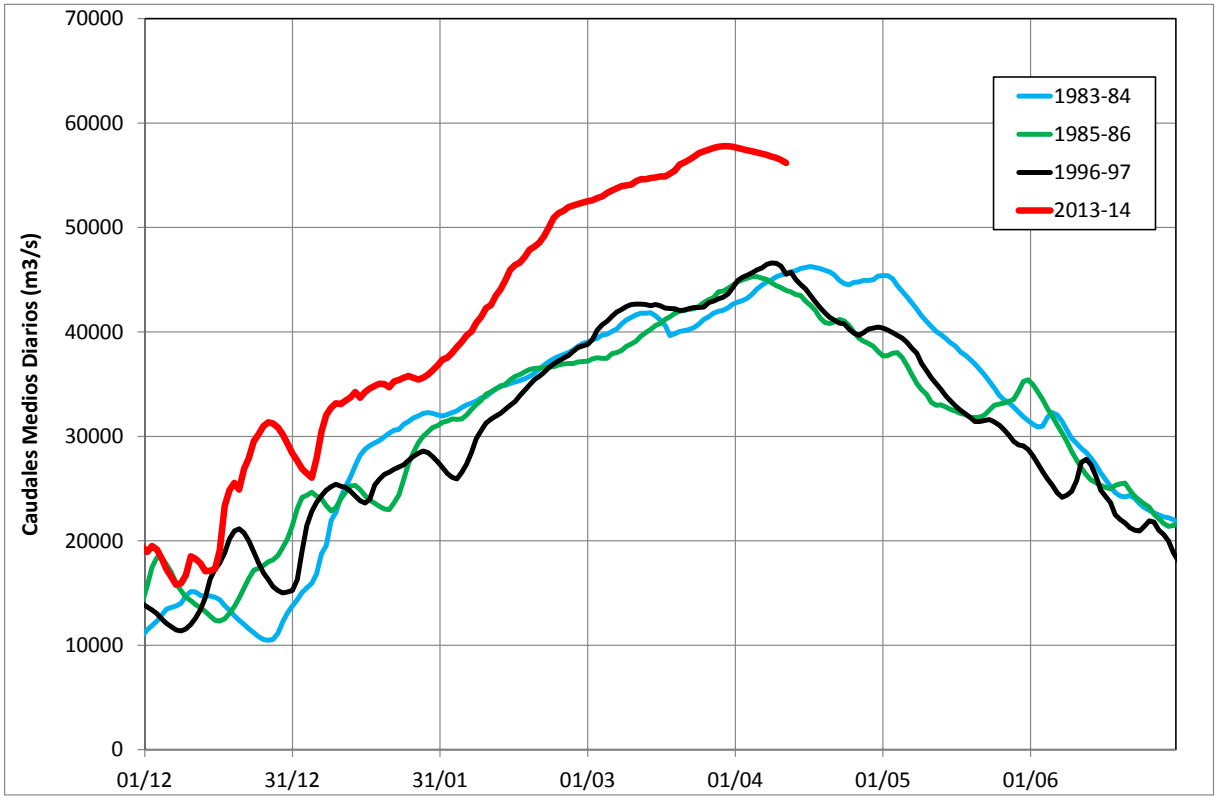


Figura 20: crecidas excepcionales del rio Madera en Porto Velho sobre el periodo 1966-2014



Anexo 2: Decisión 555/2006 de la ANA

ANA
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

RESOLUÇÃO Nº 555, DE 19 DE DEZEMBRO DE 2006

O DIRETOR-PRESIDENTE DA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA, no uso da atribuição que lhe confere art. 53, XVII, do Regimento Interno aprovado pela Resolução nº 173, de 17 de abril de 2006, torna público que a DIRETORIA COLEGIADA, em sua 225ª Reunião Ordinária, realizada em 19 de dezembro de 2006, considerando o disposto no art. 7º, da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, e em resposta à solicitação da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, processo nº 02501.000047/2006-51, resolveu:

Art. 1º Declarar reservadas, à ANEEL, na seção do rio Madeira situada às coordenadas 09° 19' 52" de Latitude Sul e 64° 44' 04" de Longitude Oeste, as vazões naturais afluentes, conforme Tabela do Anexo I, subtraídas da vazão de 90 m³/s, destinada ao atendimento de outros usos consuntivos a montante.

Art. 2º As vazões reservadas têm a finalidade de garantir a disponibilidade hídrica necessária à viabilidade do aproveitamento hidrelétrico Jirau, Município de Porto Velho, Estado de Rondônia, com as seguintes características:

I - coordenadas geográficas do eixo do barramento: 09° 19' 52" de Latitude Sul e 64° 44' 04" de Longitude Oeste;

II - nível d'água máximo normal a montante: 90,0 m;

III - nível d'água máximo maximorum a montante: 92,0 m;

IV - nível d'água mínimo normal a montante: 82,5 m;

V - área inundada do reservatório no nível d'água máximo normal: 258,0 km^2;

VI - volume do reservatório no nível d'água máximo normal: 1.685,6 hm^3;

VII - cota da crista da barragem: 95,5 m;

VIII - altura máxima da barragem: 35,5 m;

IX - vazão máxima turbinada: 23.848,0 m^3/s;

X - vazão mínima para dimensionamento do vertedouro: 82.587,0 m³/s; e

XI - eclusa e canais de navegação, para o tráfego de embarcações com as seguintes especificações:

a) boca: 44,0 m;
b) comprimento: 280,0 m; e
c) calado mínimo: 4,0 m.

§ 1º O arranjo das estruturas previstas, notadamente tomada d'água, barragem, eclusa e vertedor, deve buscar favorecer a passagem de sedimentos.

§ 2º O abastecimento de água da cidade de Porto Velho e outras comunidades afetadas pelo reservatório, notadamente Mutum-Paraná e Palmeiral, não poderá ser interrompido em decorrência da implantação do empreendimento, em suas fases de construção e operação.

§ 3º As áreas urbanas e localidades, notadamente Mutum-Paraná e Palmeiral, deverão ser relocadas ou protegidas contra cheias com tempo de recorrência inferior a 50 anos, considerando-se a linha de inundação à ocasião da implantação do empreendimento e considerando-se os efeitos do assoreamento sobre a linha de inundação após o quarto ano de operação.

§ 4º A infra-estrutura viária, composta por rodovias, ferrovias e pontes, notadamente, a BR 364, deverá ser relocada ou protegida contra cheias com tempo de recorrência de 100 anos, considerando-se a linha de inundação à ocasião da implantação do empreendimento e considerando-se os efeitos do assoreamento sobre a linha de inundação após o quarto ano de operação.

§ 5º Os efeitos sobre os usos da água, associados aos processos de erosão a jusante e assoreamento a montante, decorrentes da implantação do empreendimento, deverão ser mitigados pelo futuro outorgado.

Art. 3º A Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica, objeto desta Resolução:

I - não confere direito de uso dos recursos hídricos e se destina a reservar a vazão a ser outorgada, possibilitando ao investidor o planejamento de seu empreendimento;

II - tem prazo de validade de três anos, contado a partir da data de publicação desta Resolução, podendo ser renovada, mediante solicitação da ANEEL, por igual período; e

III - por se caracterizar como outorga preventiva, poderá ser suspensa, parcial ou totalmente, em definitivo ou por tempo determinado, no caso de incidência nos arts. 15 e 49 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e em caso de indeferimento ou cassação da Licença Ambiental pelo órgão competente.

Art. 4º As condições de operação do reservatório do aproveitamento hidrelétrico serão definidas e fiscalizadas pela ANA, em articulação com o Operador Nacional do Sistema – ONS, conforme disposição do art. 4º, inciso XII e §3º, da Lei nº 9.984, de 2000, devendo respeitar as seguintes condições gerais:

I – vazão mínima remanescente a jusante de 3.240,0 m³/s;

II – a tomada d'água e o vertedor deverão ser operados de modo a buscar reduzir o acúmulo de sedimentos no reservatório e a promover a descarga controlada de sedimentos acumulados no reservatório;

III – o reservatório poderá ser operado de modo a garantir condições adequadas de qualidade da água e níveis d'água necessários aos usos múltiplos da água no reservatório e no trecho do rio Madeira a jusante da barragem; e

IV – o nível d'água normal do reservatório deverá variar acompanhando as condições naturais do rio Madeira, observando a curva-guia abaixo, avaliada anualmente, e respeitando os níveis d'água necessários à garantia do transporte de balsas em Abunã e à manutenção dos usos múltiplos da água.

Vazão afluente (m³/s)	Nível d'água meta no posto Abunã Vila (m)
5.600	83,7
6.800	84,5
10.600	86,8
10.400	86,8
15.900	89,5
16.600	89,9
22.700	92,1
23.900	92,5
29.100	93,4
30.200	93,6
33.600	94,2
48.800	97,7

Art. 5º O futuro outorgado deverá implantar e manter estações de monitoramento e reportar os dados monitorados regularmente à ANA, conforme as seguintes especificações mínimas:

I – monitoramento diário de vazões turbinadas, vertidas e defluentes;

II – monitoramento diário de vazões afluentes;

III – monitoramento diário de níveis d'água a montante e a jusante, em pontos sujeitos à inundação;

IV – monitoramento mensal da descarga sólida, a montante e a jusante do reservatório;

V – monitoramento mensal da concentração de nutrientes, DBO e OD à entrada, no corpo e a jusante do reservatório; e

VI – monitoramento anual de todas as seções topobatimétricas levantadas no estudo de viabilidade, de modo a atualizar as estimativas de volume assoreado e a curva cota-área-volume.

Art. 6º Esta Declaração será transformada, automaticamente, pela ANA, em outorga de direito de uso de recursos hídricos para o aproveitamento hidrelétrico ao titular que receber da ANEEL a concessão ou a autorização para o uso do potencial de energia hidráulica, mediante apresentação do:

I – projeto básico do aproveitamento hidrelétrico, identificando, detalhadamente, os efeitos do assoreamento e remanso sobre os usos da água a montante e a jusante, incluindo programa de monitoramento para as fases de pré-enchimento, enchimento e pós-enchimento, a que se refere o Art 5º da presente Resolução; e

II – projeto básico das estruturas necessárias à construção, a qualquer tempo, da eclusa e canais de navegação.

Parágrafo único. É de responsabilidade exclusiva do futuro titular da outorga todos os ônus, encargos e obrigações relacionadas à alteração, decorrente da implantação do empreendimento, das condições das outorgas emitidas pela ANA ou pelo órgão gestor de recursos hídricos estadual, em vigor na data de início do enchimento, nos trechos de rio correspondentes à área a ser inundada e a jusante do empreendimento.

Art. 7º Esta Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica não dispensa, nem substitui a obtenção, pelo Declarado, de certidões, alvarás ou licenças de qualquer natureza, exigidos pela legislação federal, estadual ou municipal.

Art. 8º O direito de uso de recursos hídricos, quando da transformação desta Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica em outorga, estará sujeito à cobrança, nos termos da legislação pertinente.

Art. 9º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

JOSÉ MACHADO