

**ADENDA N°5 AL CONVENIO DE COOPERACION TECNICA ENTRE EL SERVICIO
NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA DEL PERU (SENAMHI) Y EL INSTITUTO
DE INVESTIGACION PARA EL DESARROLLO (IRD)**

Conste por el presente documento la Adenda N°5 al Convenio de Cooperación Técnica, que celebran de una parte,

El **SERVICIO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA DEL PERÚ**, en adelante denominada “**SENAMHI**”, con domicilio legal en Jirón Cahulde n°785, Jesús María, Departamento y Provincia de Lima, Perú, representado por su Presidente Ejecutivo, **Dr. Ken Takahashi**.

Y,

El **INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO**, en adelante denominado “**IRD**”, organismo público de carácter científico y tecnológico de la República de Francia, con sede en “Le Sextant” - 44 Boulevard de Dunkerque - CS 90009 - 13572 Marsella Cedex 2, Francia, representado por su Presidenta Directora General, **Dra. Valérie Verdier**.

En adelante llamadas **LAS PARTES** ;

VISTO El Convenio de Cooperación Técnica entre el SENAMHI y el IRD firmado el 12 de abril 2005 y las Adendas firmadas el 12 de abril del 2005, la Adenda n°1 firmada el 25 de marzo del 2009, la Adenda °2 firmada el 16 de Julio del 2010, la Adenda n°3 firmada el 26 de Junio del 2013, la Adenda n°4 firmada el 13 de Abril del 2017,

CONSIDERANDO El mutual interés del IRD y del SENAMHI para la realización de las investigaciones sobre climatología, hidrología, geoquímica y flujo sedimentarios en la cuenca amazónica y en los Andes del Perú.

SE ACUERDA LO SIGUIENTE:

ARTICULO 1: OBJETO

La presente Adenda tiene por objeto de:

- 1) Actualizar los proyectos científicos y los responsables científicos que se encuentran descritos en los Anexos Científicos N°1 y N°2.
- 2) Prolongar la duración del Convenio.

ARTICULO 2: DURACIÓN

La validez del Convenio marco de Cooperación Técnica entre el SENAMHI-IRD se prolonga por cuatro (4) años a partir del 13/04/2021.

ARTÍCULO 3: EFICACIA ANTICIPADA

Las Partes acuerdan brindar eficacia anticipada desde el 13 de abril de 2021 a la presente Adenda, considerando que se vienen ejecutando actividades en marco del Convenio

ARTÍCULO 4: CORPUS CONTRACTUAL

El documento contractual entre el SENAMHI y el IRD se compone del Convenio de Cooperación Técnica, de las Adendas n°1, n°2, n°3, n°4 y de la presente Adenda y sus Anexos Científicos n°1 y n°2.

Hecho en Lima, en seis (06) ejemplares originales, tres (03) en francés y tres (03) en español siendo igualmente fidedigna cada una de las versiones, el día.....08/07/2021.....2021

Por el IRD



Firmado digitalmente por
GONZALES QUISPE Luz Marina
FAU 20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 26.07.2021 21:12:21 -05:00

.....
Dra. Valérie Verdier
Presidenta Directora General



Firmado digitalmente por FELIPE
OBANDO Oscar Gustavo FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 09:02:23 -05:00



Firmado digitalmente por ARTEAGA
ARCE Daniel Alberto FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 18:42:39 -05:00

Por el SENAMHI



Firmado digitalmente por TAKAHASHI
GUEVARA Ken FAU 20131366028
soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 30.07.2021 21:20:40 -05:00

.....

.....
Dr. Ken Takashi
Presidente Ejecutivo



Firmado digitalmente por BARRON
LOPEZ Jose Percy FAU
20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 19:50:50 -05:00

ANEXO CIENTIFICO N°1

HIDROCLIMATOLOGÍA Y SU RELACIÓN CON LOS CAMBIOS DE USO DE SUELO (DEFORESTACIÓN) EN LA REGIÓN ANDINO AMAZÓNICA PERUANA

Responsables científicos:

Por el **IRD**: Dr.Jhan Carlo Espinoza, Dr.Thomas Condom

Por el **SENAMHI**: Dr.Waldo Lavado Casimiro

1. PROBLEMÁTICA Y OBJETIVOS GENERALES

La cuenca del río Amazonas alberga el bosque tropical más grande del mundo, el cual desempeña un papel fundamental en regular el clima a escala global y regional (Nobre et al., 2016; Salati y Vose, 1984). De esta manera, el bosque Amazónico modula la circulación atmosférica en diferentes escalas espaciales y proporciona humedad hacia regiones vecinas como los Andes tropicales (Ampuero et al., 2020; Espinoza et al., 2020; Segura et al., 2020; Staal et al., 2018). A su vez, los Andes tropicales son la principal fuente de nutrientes, sedimentos y flujos hídricos hacia la parte baja de la cuenca amazónica (e.g. Espinoza et al., 2009a; Guyot et al., 2007). Por lo tanto, los Andes y la Amazonía interactúan en un fragil equilibrio que se encuentra bajo amenaza por cambios globales que incluye al cambio climático y cambios en el uso del suelo.

En la actualidad, existe un gran debate en la comunidad científica sobre los cambios ambientales críticos que podrían conducir al punto de no retorno, más conocido en la literatura como “tipping point”, de la selva Amazónica, esto significa una pérdida irreversible de su biodiversidad (Davidson et al., 2012; Nobre et al., 2016). A pesar de algunas estimaciones basadas en modelos que asocian valores de puntos de no retorno de la selva Amazónica a un incremento de la temperatura global de 3 a 4 °C o a tasas de deforestación que superan el 40% (Lenton et al., 2008; Nobre et al., 2016; Salazar and Nobre, 2010), recientes estudios muestran que este punto de no retorno está influenciado por la combinación de varios factores en conjunto como la deforestación, el uso generalizado del fuego y la variabilidad del clima (Aragão et al., 2018; Brando et al., 2020; Lovejoy and Nobre, 2018). Sin embargo, sigue habiendo incertidumbres debido a procesos biofísicos aún desconocidos y a escenarios hipotéticos de deforestación (Lawrence and Vandecar, 2015; Sampaio et al., 2007).

Estudios recientes muestran la posible existencia de un acoplamiento entre la pérdida de bosques en la Amazonia y los cambios en los componentes del régimen hidrológico y climático, como la evapotranspiración o la cantidad de lluvia (Lawrence and Vandecar, 2015; Sampaio et al., 2007; Spracklen et al., 2012), la duración de la estación seca (Aragão et al., 2018; Arias et al., 2015; Fu et al., 2013; Khanna et al., 2017; Marengo et al., 2011; Ruiz-Vásquez et al., 2020; S. Debortoli et al., 2015; Wright et al., 2017), entre otros. La mayoría de estos estudios están limitados a la Amazonia brasileña (Debortoli et al., 2017; Fu et al., 2013; Leite-Filho et al., 2019; S. Debortoli et al., 2015).

Esta problemática es particularmente relevante en la Amazonía de los países Andinos, considerada como una de las zonas con mayor biodiversidad del planeta (Zenit, 2019) y la región más lluviosa de toda la cuenca amazónica (Espinoza et al., 2009b, 2015). Por otro lado, la amazonía peruana ha reportado en los últimos años una intensificación de eventos hidroclimáticos extremos, los cuales han impactado directamente el estado vegetativo del bosque (Espinoza et al., 2016; Lavado Casimiro et al., 2013; Marengo and Espinoza, 2016; Wongchuig-Correa et al., 2020). Además, diversas actividades humanas como tala ilegal de bosques, minería ilegal, etc, ponen en alto riesgo el futuro del fragil equilibrio climático entre la Amazonía y los Andes. En efecto, mediante el uso de modelos acoplados entre la superficie y la atmósfera, recientes estudios han mostrado que la precipitación en los Andes peruanos podría disminuir significativamente como consecuencia de la deforestación en la Amazonía (e.g. Lejeune et al., 2015; Ruiz-Vásquez et al., 2020), lo cual pondría en alto riesgo la seguridad hídrica, energética y alimentaria del país.



Firmado digitalmente por FELIPE
OBANDO Oscar Gustavo FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 09:02:54 -05:00



Firmado digitalmente por
GONZALES QUISPE Luz Marina
FAU 20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 26.07.2021 21:13:09 -05:00



Firmado digitalmente por ARTEAGA
ARCE Daniel Alberto FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 18:43:07 -05:00

Bajo esta problemática de primer orden, investigadores del SENAMHI y del IRD interactúan desde más de 15 años para mejorar nuestro entendimiento sistema Andes-Amazonía y predecir los posibles impactos de los cambios ambientales sobre los recursos hídricos. En el presente programa de investigación, nuestras actividades estarán orientadas a estudiar la conectividad, en términos hidrológicos y climáticos del bosque amazónico (dentro y fuera del Perú) y los recursos hídricos de las cuencas Andinas, particularmente dependientes de las precipitaciones estacionales. Nuestro objetivo final será reducir las incertidumbres respecto a los posibles impactos de la deforestación amazónica en los recursos hídricos en el Perú.

Los investigadores que lideran esta iniciativa, tienen una amplia trayectoria de colaboración de más de 15 años, en los cuales han co-publicado más de 20 artículos científicos en revistas internacionales de alto impacto sobre esta temática. Además, los investigadores hacen parte de estructuras co-construidas entre el IRD y SENAMHI como el LMI-GREATICE, el SNO-HYBAM, etc., lo cual garantiza el adecuado desarrollo y continuidad de este proyecto. Finalmente, estos investigadores hacen parte de proyectos y programas internacionales directamente relacionados con el tema planteado en este programa, como el Grupo de Trabajo Regional sobre la Hidrogeomorfología de la Cuenca Andino-Amazónica del PHI-LAC de la UNESCO; el programa hidroclimático regional de los Andes (ANDEX) bajo el patrocinio de GEWEX, el Panel Científico para la Amazonía (SPA) bajo el auspicio de “Sustainable Development Solutions Network (SDSN)” de las Naciones Unidas, y del proyecto Amazon-Andes connectivity (AMANECER) de la iniciativa “Make Our Planet Great Again” del gobierno francés, lo cual dará visibilidad y relevancia internacional a los trabajos desarrollados en el presente programa.

2 — OBJETIVOS ESPECIFICOS

El presente programa cuenta con los siguientes objetivos específicos:

- Analizar los cambios en el régimen hidrológico y climático asociados a cambios en la cobertura vegetal en la cuenca amazónica peruana.
- Realizar la evaluación de variables del ciclo hidrológico y condiciones vegetativas generados por datos de sensoramiento remoto para la modelación hidrológica y climática en las cuencas Andino-Amazónicas.
- Realizar el modelado atmosférico de alta resolución en cuencas características de la región de transición Andes-Amazonía.
- Evaluar impactos de escenarios futuros de deforestación y cambio climático en la Amazonía sobre la disponibilidad hídrica en la región andina.
- Formular proyectos de investigación para la obtención de recursos (nacionales e internacionales) destinados al desarrollo de las actividades del proyecto y la formación de investigadores.

3 - METODOLOGÍAS

3.1. Analizar los cambios en el régimen hidrológico y climático asociados a cambios en la cobertura vegetal en la cuenca amazónica peruana

Los cambios en el régimen hidrológico y climático se analizarán a través del análisis de cambios en el balance superficial de agua y balance energético, tomando como base el marco Budyko y su relación con los cambios en la cobertura vegetal (Wongchuig-Correa et al., 2020). Este análisis proporciona una relación entre el índice de evaporación (IE) (evapotranspiración real vs. precipitación), el índice de sequedad (IS) (evapotranspiración potencial vs. precipitación) (Budyko, 1974) y el cambio de ambos índices en el tiempo en función a los cambios en la cobertura vegetal. De esta forma se obtiene información sobre las regiones limitadas por la energía ($IS < 1$) y limitadas por el agua ($IS > 1$) y, por lo tanto, una aproximación a una posible transición de un estado de selva tropical a sabana.



Firmado digitalmente por
GONZALES QUISPE Luz Marina
FAU 20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 26.07.2021 21:13:37 -05:00



Firmado digitalmente por FELIPE
OBANDO Oscar Gustavo FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 09:04:27 -05:00



Firmado digitalmente por ARTEAGA
ARCE Daniel Alberto FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 18:43:37 -05:00

Dada la actual disponibilidad de información hidro climática y de cobertura vegetal a nivel global gracias a numerosas bases de datos basadas en sensores remotos, el análisis en la Amazonia peruana será llevado a cabo de una manera distribuida tanto espacial como temporal de las principales variables hidro climáticas (validadas según la metodología 3.2) en relación con los cambios de la cobertura vegetal.

3.2. Para la validación de variables del ciclo hidrológico y condiciones vegetativas generados por datos de sensoramiento remoto y modelado hidrológico

Algunos estudios previos han evaluado la consistencia de variables del ciclo hidrológico (típicamente precipitaciones, evapotranspiración, agua en el suelo, etc.) en los Andes y la Amazonía peruana (Chavez and Takahashi, 2017; Condom et al., 2020, 2011; Espinoza et al., 2019; Mourre et al., 2016; Paccini et al., 2018; Satgé et al., 2019). En la presente investigación será evaluado inicialmente a escala regional dentro de cuencas piloto (e.g. Vilcanota, Apurímac, etc) que presenta características propias de la región de transición Andes-Amazónica. Esta evaluación se realizará fraccionando la escala temporal en periodos: 2001-2005, 2005-2009, 2009-2013 y 2013-2017 para datos diarios como las precipitaciones. Los datos serán evaluados de acuerdo a diferentes criterios estadísticos, como coeficiente de correlación (CC), desviación estándar (SD), porcentaje de bias (%B) y error medio cuadrado centrado (CRMSE). Finalmente, gracias al uso de observaciones de caudales, propondremos un análisis de balance hídrico superficial ($DS=P-R-Et$) que nos permitirá de evaluar el error relativo de las diferentes bases de datos componentes del ciclo hidrológico. Estos análisis, aunque simples, resultan de fundamental relevancia para el entendimiento de nuestra capacidad observacional del ciclo hidrológico, particularmente importante en la Amazonía Andina (e.g. Builes-Jaramillo and Poveda, 2018).

Con la selección de las más adecuadas bases de datos se realizará la representación espacio-temporal de la precipitación en la cuenca, usando las técnicas geoestadísticas de interpolación con las covariables y elevación. Esta información espacio-temporal será utilizado para el modelamiento hidrológico y evaluar la respuesta hidrológica de la cuenca para el periodo de 1981-presente, identificar las variaciones de la disponibilidad hídrica a consecuencia de la variación de la vegetación (degradación debido a deforestación, cambio de uso, entre otros) a lo largo del periodo de análisis.

En el caso del SENAMHI, se está trabajando con el modelo hidrológico SWAT ("Soil and Water Assessment Tool"); se tiene bastante experiencia con este modelo hidrológico y se puede utilizar para evaluar los impactos de la deforestación sobre los recursos hídricos.

3.3 Para el modelado atmosférico y escenarios de deforestación

El estudio de la interacción atmósfera-superficie se realizará mediante la implementación de un modelo de alta resolución en el oeste de la cuenca amazónica y en la región de transición Andes-Amazónica. Los procesos atmosféricos de escala regional y local serán analizados mediante el modelo WRF (Weather Research and Forecasting) el cual ha sido validado en la región Cusco en Junquas et al. (2018). El modelo será analizado a diferentes escalas espaciales (27, 9, 3 y hasta 1km de resolución espacial). Posteriormente, la sensibilidad de las variables atmosféricas a escenarios de cambios de cobertura vegetal (incluyendo deforestación) en la cuenca amazónica serán evaluados usando WRF. Escenarios de cobertura vegetal provendrán del proyecto AMANECER-MOPGA (PI. JC Espinoza), el cual está en curso desde octubre 2018. WRF es el único modelo de alta resolución previamente validado en la región amazónica bajo escenarios de cambios de superficie (Bagley et al., 2014) y en regiones de compleja topografía (Junquas et al., 2018; Saavedra et al., 2020). La validación de las salidas de WRF en nuestra región de estudio se realizará con las bases de datos validadas como resultados obtenidos en la sección 3.2.

3.4. Para la formulación de proyectos de investigación

Nuestro equipo de investigación tiene como prioridad la obtención de fondos externos para el funcionamiento de nuestro programa de investigación. En particular, se prevee aplicar a fondos nacionales (e.g. Fondecyt) e internacionales (principalmente de la cooperación francesa aunque no exclusivamente). Actualmente este equipo de investigación ya cuenta con proyectos ganados (ECOS-Nord y ClimatAmSud), que permitirán iniciar los objetivos del presente programa. Finalmente, nuestra

participación en diferentes programas y estructuras internacionales (mencionadas en la introducción) nos permitirán tener una visión amplia de las posibilidades de financiamiento para la investigación.

Adicionalmente, para el adecuado desarrollo de este proyecto se prevee:

- Reunión de los equipos de trabajo al menos una vez por año de manera presencial.
- Reuniones de los equipos de trabajo al menos con frecuencia semestral de manera virtual o presencial.
- Formación de estudiantes (tesis de ingeniería o licenciatura, maestría y doctorado, según las posibilidades de financiamiento y candidatos).
- Participación en congresos científicos internacionales y nacionales.
- Publicación de los resultados en revistas científicas internacionales indexadas.

4 - COMPROMISOS SENAMHI/IRD

El SENAMHI se compromete a proporcionar:

- Sueldo de su personal
- Viáticos de su personal para las actividades de campo
- Oficina y laboratorio

El IRD se compromete a proporcionar:

- Sueldo de su personal
- Viáticos de su personal para las actividades de campo
- Presupuesto anual de funcionamiento (misiones, equipamientos, conferencias, etc.)

5 — PARTICIPANTES — Equipo

Científico del IRD:

Jhan Carlo Espinoza (IRD/IGE), Clementine Junquas (IGE/IRD), Thomas Condom (IGE/IRD), Sly Wongchuig Correa (IGE/IRD), Jean Emmanuel Sicart (IGE/IRD), Thierry Lebel (IRD/IGE),

Equipo científico del SENAMHI:

Waldo Sven Lavado Casimiro (DHI), Cristian Montesinos Caceres (DHI), Evelin Sabino (DHI), Harold Llauca (DHI), Gerardo Jacome (DMA), Jhonatan Paredes (DMA), Karim Quevedo (DAM).

Referencias

- Ampuero, A., Strikis, N.M., Apaéstegui, J., Vuille, M., Novello, V.F., Espinoza, J.C., Cruz, F.W., Vonhof, H., Mayta, V.C., Martins, V.T.S., Cordeiro, R.C., Azevedo, V., Sifeddine, A., 2020. The Forest Effects on the Isotopic Composition of Rainfall in the Northwestern Amazon Basin, Journal of Geophysical Research: Atmospheres. <https://doi.org/10.1029/2019JD031445>
- Aragão, L.E.O.C., Anderson, L.O., Fonseca, M.G., Rosan, T.M., Vedovato, L.B., Wagner, F.H., Silva, C.V.J., Silva Junior, C.H.L., Arai, E., Aguiar, A.P., Barlow, J., Berenguer, E., Deeter, M.N., Domingues, L.G., Gatti, L., Gloor, M., Malhi, Y., Marengo, J.A., Miller, J.B., Phillips, O.L., Saatchi, S., 2018. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. Nat. Commun. 9, 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02771-y>
- Arias, P.A., Fu, R., Vera, C., Rojas, M., 2015. A correlated shortening of the North and South American monsoon seasons in the past few decades. Clim. Dyn. 45, 3183–3203. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2533-1>
- Bagley, J.E., Desai, A.R., Harding, K.J., Snyder, P.K., Foley, J.A., 2014. Drought and deforestation: Has land cover change influenced recent precipitation extremes in the Amazon? J. Clim. 27, 345–361. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00369.1>

- Brando, P.M., Soares-Filho, B., Rodrigues, L., Assunção, A., Morton, D., Tuchsneider, D., Fernandes, E.C.M., Macedo, M.N., Oliveira, U., Coe, M.T., 2020. The gathering firestorm in southern Amazonia. *Sci. Adv.* 6, 1–10. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aay1632>
- Budyko, M.I., 1974. Edited by, in: Budyko, M.I.B.T.-I.G. (Ed.), *Climate and Life*. Academic Press, p. iii. [https://doi.org/10.1016/S0074-6142\(09\)60001-2](https://doi.org/10.1016/S0074-6142(09)60001-2)
- Builes-Jaramillo, A., Poveda, G., 2018. Conjoint Analysis of Surface and Atmospheric Water Balances in the Andes-Amazon System. *Water Resour. Res.* 54, 3472–3489. <https://doi.org/10.1029/2017WR021338>
- Chavez, S.P., Takahashi, K., 2017. Orographic rainfall hot spots in the Andes-Amazon transition according to the TRMM precipitation radar and in situ data. *J. Geophys. Res. Atmos.* 122, 5870–5882. <https://doi.org/10.1002/2016JD026282>
- Condom, T., Martínez, R., Pabón, J.D., Costa, F., Pineda, L., Nieto, J.J., López, F., Villacis, M., 2020. Climatological and Hydrological Observations for the South American Andes: In situ Stations, Satellite, and Reanalysis Data Sets. *Front. Earth Sci.* 8, 1–20. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00092>
- Condom, T., Rau, P., Espinoza, J.C., 2011. Correction of TRMM 3B43 monthly precipitation data over the mountainous areas of Peru during the period 1998–2007. *Hydrol. Process.* 25, 1924–1933. <https://doi.org/10.1002/hyp.7949>
- Davidson, E.A., De Araújo, A.C., Artaxo, P., Balch, J.K., Brown, I.F., Mercedes, M.M., Coe, M.T., Defries, R.S., Keller, M., Longo, M., Munger, J.W., Schroeder, W., Soares-Filho, B.S., Souza, C.M., Wofsy, S.C., 2012. The Amazon basin in transition. *Nature* 481, 321–328. <https://doi.org/10.1038/nature10717>
- Debortoli, N.S., Dubreuil, V., Hirota, M., Filho, S.R., Lindoso, D.P., Nabucet, J., 2017. Detecting deforestation impacts in Southern Amazonia rainfall using rain gauges. *Int. J. Climatol.* 37, 2889–2900. <https://doi.org/10.1002/joc.4886>
- Espinoza, J.C., Chavez, S., Ronchail, J., Junquas, C., Takahashi, K., Lavado, W., 2015. Rainfall hotspots over the southern tropical Andes: Spatial distribution, rainfall intensity, and relations with large-scale atmospheric circulation. *Water Resour. Res.* 51, 3459–3475. <https://doi.org/10.1002/2014WR016273>
- Espinoza, J.C., Garreaud, R., Poveda, G., Arias, P.A., Molina-Carpio, J., Masiokas, M., Viale, M., Scaff, L., 2020. Hydroclimate of the Andes Part I: Main Climatic Features. *Front. Earth Sci.* 8, 1–20. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00064>
- Espinoza, J.C., Guyot, J.L., Ronchail, J., Cochonneau, G., Filizola, N., Fraizy, P., Labat, D., de Oliveira, E., Ordoñez, J.J., Vauchel, P., 2009a. Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon basin (1974–2004). *J. Hydrol.* 375, 297–311. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.03.004>
- Espinoza, J.C., Ronchail, J., Guyot, J.L., Cochonneau, G., Naziano, F., Lavado, W., De Oliveira, E., Pombosa, R., Vauchel, P., 2009b. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). *Int. J. Climatol.* 29, 1574–1594. <https://doi.org/10.1002/joc.1791>
- Espinoza, J.C., Ronchail, J., Marengo, J.A., Segura, H., 2019. Contrasting North–South changes in Amazon wet-day and dry-day frequency and related atmospheric features (1981–2017). *Clim. Dyn.* 52, 5413–5430. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4462-2>
- Espinoza, J.C., Segura, H., Ronchail, J., Drapeau, G., Gutierrez-Cori, O., 2016. Evolution of wet-day and dry-day frequency in the western Amazon basin: Relationship with atmospheric circulation and impacts on vegetation. *Water Resour. Res.* 52, 8546–8560. <https://doi.org/10.1002/2016WR019305>
- Fu, R., Yin, L., Li, W., Arias, P.A., Dickinson, R.E., Huang, L., Chakraborty, S., Fernandes, K., Liebmann, B., Fisher, R., Myneni, R.B., 2013. Increased dry-season length over southern Amazonia in recent decades and its implication for future climate projection. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 110, 18110–18115. <https://doi.org/10.1073/pnas.1302584110>
- Guyot, J.L., Jouanneau, J.M., Soares, L., Boaventura, G.R., Maillet, N., Lagane, C., 2007. Clay mineral composition of river sediments in the Amazon Basin. *Catena* 71, 340–356. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.02.002>
- Junquas, C., Takahashi, K., Condom, T., Espinoza, J.C., Chavez, S., Sicart, J.E., Lebel, T., 2018. Understanding the influence of orography on the precipitation diurnal cycle and the associated atmospheric processes in the central Andes. *Clim. Dyn.* 50, 3995–4017. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3858-8>
- Khanna, J., Medvigy, D., Fueglistaler, S., Walko, R., 2017. Regional dry-season climate changes due to three decades of Amazonian deforestation. *Nat. Clim. Chang.* 7, 200–204.

- <https://doi.org/10.1038/nclimate3226>
- Lavado Casimiro, W.S., Labat, D., Ronchail, J., Espinoza, J.C., Guyot, J.L., 2013. Trends in rainfall and temperature in the Peruvian Amazon-Andes basin over the last 40years (1965-2007). *Hydrol. Process.* <https://doi.org/10.1002/hyp.9418>
- Lawrence, D., Vandecar, K., 2015. Effects of tropical deforestation on climate and agriculture. *Nat. Clim. Chang.* 5, 27–36. <https://doi.org/10.1038/nclimate2430>
- Leite-Filho, A.T., de Sousa Pontes, V.Y., Costa, M.H., 2019. Effects of Deforestation on the Onset of the Rainy Season and the Duration of Dry Spells in Southern Amazonia. *J. Geophys. Res. Atmos.* 124, 5268–5281. <https://doi.org/10.1029/2018JD029537>
- Lejeune, Q., Davin, E.L., Guillod, B.P., Seneviratne, S.I., 2015. Influence of Amazonian deforestation on the future evolution of regional surface fluxes, circulation, surface temperature and precipitation. *Clim. Dyn.* 44, 2769–2786. <https://doi.org/10.1007/s00382-014-2203-8>
- Lenton, T.M., Held, H., Kriegler, E., Hall, J.W., Lucht, W., Rahmstorf, S., Schellnhuber, H.J., 2008. Tipping elements in the Earth's climate system. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 105, 1786–1793. <https://doi.org/10.1073/pnas.0705414105>
- Lovejoy, T.E., Nobre, C., 2018. Amazon tipping point. *Sci. Adv.* 4, 1–2. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aat2340>
- Marengo, J.A., Espinoza, J.C., 2016. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: Causes, trends and impacts. *Int. J. Climatol.* 36, 1033–1050. <https://doi.org/10.1002/joc.4420>
- Marengo, J.A., Tomasella, J., Alves, L.M., Soares, W.R., Rodriguez, D.A., 2011. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophys. Res. Lett.* 38, 1–5. <https://doi.org/10.1029/2011GL047436>
- Mourre, L., Condom, T., Junquas, C., Lebel, T., E. Sicart, J., Figueroa, R., Cochachin, A., 2016. Spatio-temporal assessment of WRF, TRMM and in situ precipitation data in a tropical mountain environment (Cordillera Blanca, Peru). *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 20, 125–141. <https://doi.org/10.5194/hess-20-125-2016>
- Nobre, C.A., Sampaio, G., Borma, L.S., Castilla-Rubio, J.C., Silva, J.S., Cardoso, M., 2016. Land-use and climate change risks in the amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 113, 10759–10768. <https://doi.org/10.1073/pnas.1605516113>
- Paccini, L., Espinoza, J.C., Ronchail, J., Segura, H., 2018. Intra-seasonal rainfall variability in the Amazon basin related to large-scale circulation patterns: a focus on western Amazon-Andes transition region. *Int. J. Climatol.* 38, 2386–2399. <https://doi.org/10.1002/joc.5341>
- Ruiz-Vásquez, M., Arias, P.A., Martinez, A., Espinoza, J.C., 2020. Effects of Amazon basin deforestation on regional atmospheric circulation and water vapor transport towards tropical South America. *Clim. Dyn.* <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05223-4>
- S. Debortoli, N., Dubreuil, V., Funatsu, B., Delahaye, F., de Oliveira, C.H., Rodrigues-Filho, S., Saito, C.H., Fetter, R., 2015. Rainfall patterns in the Southern Amazon: a chronological perspective (1971–2010). *Clim. Change* 132, 251–264. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1415-1>
- Saavedra, M., Junquas, C., Espinoza, J.C., Silva, Y., 2020. Impacts of topography and land use changes on the air surface temperature and precipitation over the central Peruvian Andes. *Atmos. Res.* 234, 104711. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104711>
- Salati, E., Vose, P.B., 1984. Amazon Basin: A system in equilibrium. *Science* (80-.). 225, 129–138. <https://doi.org/10.1126/science.225.4658.129>
- Salazar, L.F., Nobre, C.A., 2010. Climate change and thresholds of biome shifts in Amazonia. *Geophys. Res. Lett.* 37, n/a-n/a. <https://doi.org/10.1029/2010GL043538>
- Sampaio, G., Nobre, C., Costa, M.H., Satyamurty, P., Soares-Filho, B.S., Cardoso, M., 2007. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. *Geophys. Res. Lett.* 34, 1–7. <https://doi.org/10.1029/2007GL030612>
- Satgé, F., Ruelland, D., Bonnet, M.P., Molina, J., Pillco, R., 2019. Consistency of satellite-based precipitation products in space and over time compared with gauge observations and snow-hydrological modelling in the Lake Titicaca region. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 23, 595–619. <https://doi.org/10.5194/hess-23-595-2019>
- Segura, H., Espinoza, J.C., Junquas, C., Lebel, T., Vuille, M., Garreaud, R., 2020. Recent changes in the precipitation-driving processes over the southern tropical Andes/western Amazon. *Clim. Dyn.* 54, 2613–2631. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05132-6>
- Spracklen, D. V., Arnold, S.R., Taylor, C.M., 2012. Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests. *Nature* 489, 282–285. <https://doi.org/10.1038/nature11390>
- Staal, A., Tuinenburg, O.A., Bosmans, J.H.C., Holmgren, M., van Nes, E.H., Scheffer, M., Zemp, D.C., Dekker, S.C., 2018. Forest-rainfall cascades buffer against drought across the Amazon. *Nat. Clim.*

- Chang. 8, 539–543. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0177-y>
- Wongchuig-Correa, S., Espinoza, J.C., Condom, T., Segura, H., Ronchail, J., Arias, P.A., Junquas, C., Rabatel, A., Lebel, T., 2020. A regional view of Amazon rainforest-to-savanna transition: water cycle changes vs. deforestation. *Proc. Natl. Acad. Sci.*
- Wright, J.S., Fu, R., Worden, J.R., Chakraborty, S., Clinton, N.E., Risi, C., Sun, Y., Yin, L., 2017. Rainforest-initiated wet season onset over the southern Amazon. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 114, 8481–8486. <https://doi.org/10.1073/pnas.1621516114>
- Zenit, 2019. Amazonía peruana: Una de las zonas con mayor biodiversidad del planeta [WWW Document]. URL <https://es.zenit.org/2019/09/03/la-amazonia-peruana-una-de-las-zonas-con-mayor-biodiversidad-del-planeta/>



Firma Digital
Firmado digitalmente por
GONZALES QUISPE Luz Marina
FAU 20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 26.07.2021 21:21:31 -05:00



Firma Digital
Firmado digitalmente por FELIPE
OBANDO Óscar Gustavo FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 09:10:09 -05:00



Firma Digital
Firmado digitalmente por ARTEAGA
ARCE Daniel Alberto FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 18:46:30 -05:00

ANEXO CIENTIFICO N°2

HIDROLOGÍA DE LA CUENCA DEL AMAZONAS (SERVICIO DE OBSERVACIÓN HyBAm)

Responsables científicos:

- **Por el IRD :** Dr. MARTINEZ Jean-Michel (Director científico del SO HyBAm).
- **Por el SENAMHI:** Dr. Waldo Lavado Casimiro (Sub- Director de Estudios e Investigaciones Hidrológicas)

Problemática general

El río Amazonas fluye a través de una cuenca de escala continental ($6 \cdot 10^6 \text{ km}^2$), sobre dos hemisferios. Sus flujos en aguas dulces, en sedimentos, en elementos disueltos y en materia orgánica influyen sobre la composición físico-química de las aguas oceánicas al este del continente sur-americano. Sin embargo, las dinámicas hidro-sedimentarias internas a la cuenca del Amazonas, respondiendo a forzamientos climáticos y tectónicos o a presiones antrópicas, pueden influir en los grandes ciclos climáticos globales, por ejemplo, a través variaciones significativas de su enorme biomasa.

En las últimas décadas, la cuenca del río Amazonas ha enfrentado una variabilidad climática cada vez mayor y una presión antrópica creciente. Los Andes, una fuente de sedimentos y nutrientes que alimenta la mega biodiversidad de la Amazonia, está experimentando una extensión rápida de deforestación, un preocupante cambio de uso de suelos y la proliferación de nuevas rutas terrestres construidas para explotar los numerosos recursos naturales que presenta esta región. Además, grandes proyectos de represas de agua se están implementando o están proyectadas.

Estos cambios globales y locales pueden afectar el funcionamiento hidro-sedimentaria de toda la cuenca. En este contexto, la medición de crónicas hidro-sedimentarias y geoquímicas extensas y consistentes se volvió en un tema crucial para monitorear y comprender los impactos ambientales en el bioma amazónico y socioeconómicos para las poblaciones humanas de la cuenca.

Es por eso que se creó en 2003 el Servicio de Observación HyBAm (Hidrología de la Cuenca del Amazonas), con el objetivo de estudiar los controles climáticos y tectónicos que controlan la transferencia de materias y agua en la cuenca, para evaluar los impactos de la variabilidad climática y de las modificaciones antrópicas en estas transferencias. Así, el SO HyBAm, de lo cual el SENAMHI y el IRD son contrapartes históricas y centrales, produce y difunde a la comunidad científica datos hidro-sedimentarios y geoquímicos. Gracias a HyBAm se generan bastantes conocimientos y experiencias técnico-científicos internacionales en dirección del personal de los institutos, agencias y universidades asociadas, a través de acciones de capacitación técnica, la supervisión de estudiantes, la transferencia y el desarrollo de innovaciones tecnológicas y de proyectos de investigación asociados.

Actividades específicas

Actividad 1: Monitoreo hidro-sedimentario de los grandes ríos amazónicos: fortalecer las capacidades operacionales, asegurar la producción y la generación de datos

Durante el período de vigencia del presente acuerdo, el SENAMHI y el IRD seguirán operando y manteniendo la red de estaciones hidrológicas etiquetadas por el SO HyBAm en la Amazonía peruana. Se tratará de asegurar la continuidad de las mediciones del nivel del agua, de los caudales y de la calidad del agua realizadas conjuntamente desde 2003 en el marco del SO HyBAm. Eventualmente, la red podrá adaptarse a los nuevos desafíos socio-ambientales de la región, con la creación de nuevos puntos de medición *in situ*, sujetos a financiamiento.

Las capacidades analíticas del SO HyBAm en el Perú serán aumentadas, con la creación de un nuevo laboratorio de filtración de materias en suspensión (MES) en la sede regional de Iquitos del SENAMHI. El IRD se compromete a comprar los materiales para la instalación de este laboratorio, y a participar en los gastos para los materiales consumibles (e.g. filtros). El SENAMHI se compromete a proporcionar el local con el espacio adecuado con agua, electricidad y acceso internet, los técnicos para realizar los análisis y reportar los resultados en una base de datos, así como coordinar las cuestiones logísticas con el IRD.

Específicamente en el departamento de Iquitos, el SENAMHI se compromete a asegurar el monitoreo de las 4 estaciones del SENAMHI parte del SO HyBAm (Tamshiyacu, San Regis, Requena y Bellavista), en conjunto con el IRD para financiar algunas operaciones, comprar materiales, capacitar los técnicos de la DZ de Loreto, almacenar los datos y analizar su consistencia.



Firmado digitalmente por FELIPE OBANDO Oscar Gustavo FAU 20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 09:16:33 -05:00



Firmado digitalmente por GONZALES QUISPE Luz Marina FAU 20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 26.07.2021 21:22:05 -05:00



Firmado digitalmente por ARTEAGA ARCE Daniel Alberto FAU 20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 18:47:15 -05:00

Resultados esperados

- Mantener la red de medición hidrométrica del SENAMHI parte del SO HyBAm en el Perú.
- Adquirir y almacenar los datos hidrológicos y geoquímicos recopilados en el marco de las actividades del SO HyBAm en el Perú.
- Analizar la consistencia de estos datos en coordinación con el IRD.
- Generar crónicas hidro-sedimentarias extensas y consistentes en coordinación con el IRD.
- Sujeto a financiamiento y en acuerdo de las partes, mejorar la red hidrológica de manera racional para responder a los nuevos desafíos socio-ambientales de la región.

Metodología

Las campañas de medición *in situ* se planificarán y organizarán en conjunto, varias veces al año, para asegurar el buen funcionamiento de la red y para recolectar los datos recopilados por los observadores del SENAMHI asignados a estas estaciones. La instrumentación limnimétrica de las estaciones se mantendrá y nivelará en cada visita; siempre sujeto a la disponibilidad en los sitios de medición. Los observadores del SENAMHI tomarán también muestras de MES en el río, siguiendo el plan de muestreo definido por los protocolos del SO HyBAm. En particular, para las estaciones de Borja (Marañón) y Lagarto (Ucayali), el observador deberá realizar cada mes un muestreo destinado a la caracterización geoquímica del agua, seguido de una operación de filtración.

Estas campañas también servirán a calibrar, para cada estación, las curvas de gastos [nivel del agua] - [caudal] para el monitoreo de caudales, así como las relaciones [índice de concentración] - [concentración media en la sección] para el monitoreo de las MES. Las mediciones de caudales se realizarán utilizando correntómetros a efecto Doppler (ADCP). Las secciones de los ríos en las estaciones de medición se muestrearán de acuerdo con protocolos específicos a los grandes ríos tropicales para determinar la concentración media en MES. De manera puntual, muestreos adicionales para la caracterización de las propiedades de las MES (por ejemplo, mineralogía, granulometría) podrán ser realizados. El diseño de las curvas de calibración, el tratamiento y el análisis de la consistencia de los datos hidrológicos recolectados, así como las series históricas del SENAMHI, se procesarán con los softwares Hydracess e Hydromesad desarrollado en el marco del SO HyBAm; pero nuevos softwares implementados también son sugeridos.

Las muestras de MES se procesarán en el laboratorio SENAMHI de Iquitos o de la UNALM (Lima). Se realizarán análisis geoquímicos para la determinación de los elementos mayores y trazas, isótopos, materia orgánica y tierras raras en Francia, en el laboratorio GET (Géosciences Environnement Toulouse). Los datos de las estaciones de Borja (Marañón) y Lagarto (Ucayali) serán puesto a disposición libremente en el sitio web del HyBAm para la comunidad e identificados como un producto de la colaboración entre SENAMHI y IRD en el marco del SO HyBAm.

Soluciones técnicas y financieras para desarrollar los softwares Hydracess e Hydromesad u otros en una versión *open source* serán coordinadas en conjunto entre las partes.

Cronograma previsional

La planificación de esta actividad se definirá a fines del año para el año siguiente, de acuerdo con los recursos financieros y humanos disponibles de cada parte y las limitaciones técnicas y científicas. Esta planificación podrá estar sujeta a cambios significativos, por ejemplo en el caso de eventos hidrológicos extremos.



Firmado digitalmente por ARTEAGA
ARCE Daniel Alberto FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 18:48:20 -05:00

Actividad 2: Probar e implementar nuevas tecnologías en hidrometría, definir nuevos protocolos, implementar un enfoque integrado de monitoreo hidro-sedimentario

Con el fin de mejorar la calidad de medición, aumentar la cantidad de información e incrementar la red de estaciones, nuevas tecnologías en hidrometría serán probadas, eventualmente adaptadas al contexto e implementadas. De la misma manera, nuevos protocolos robustos, optimizados, adaptados y eficientes serán desarrollados en conjunto.



Firmado digitalmente por FELIPE
OBANDO Oscar Gustavo FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 09:10:51 -05:00

Metodología:

- Actualmente, dos equipos LISST (ABS y SL2), comprados por el IRD, serán desplegados en los ríos amazónicos para realizar mediciones de perfiles verticales de concentraciones en MES, de velocidad y de granulometría.
- Igualmente, un radar SVR para la medición de velocidades de superficie podrá ser utilizado en los pequeños tributarios de los ríos estudiados, con la definición de protocolos adaptados.



Firmado digitalmente por
GONZALES QUISPE Luz Marina
FAU 20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 26.07.2021 21:22:33 -05:00

- Un prototipo acoplando radiómetros bajo costo para monitorear el color del agua en la superficie de los ríos y relacionarlo a la concentración en MES podrá ser instalado en una o varias estaciones de la red. Esta tecnología está siendo desarrollada en el marco del SO HyBAm y podrá ser implementada después de ser validada.
- Nuevos protocolos de monitoreo *in situ* de MES, en particular de las arenas en suspensión, serán definidos para mejorar los balances sedimentarios de los ríos amazónicos.
- Los materiales de aforo para la medición de MES serán renovados de acuerdo con los recursos financieros de cada institución, en particular los muestreadores y winchos.
- El banco de datos HyBAm de mediciones aDcp será analizado para investigar la relación entre las velocidades aparentes del lecho medidas por este instrumento y el transporte de fondo.
- Campañas de medición, desplegando varios instrumentos, serán planificados en el marco de este convenio de acuerdo con los recursos financieros y humanos disponibles de cada parte.

Durante el periodo de vigencia de este convenio, otros equipos y protocolos podrán también ser probados, de acuerdo a la vigilancia tecnológica que será asegurada por ambas partes y de las posibilidades financieras.

Resultados esperados

- Identificar e implementar nuevas tecnologías para la medición de flujo hidro-sedimentarios
- Definir nuevos protocolos adaptados
- Mejorar la cualidad de las mediciones y el conocimiento de los flujos en los grandes ríos amazónicos

Actividad 3: Implementar un enfoque integrado de monitoreo hidro-sedimentario

Se implementará progresivamente un enfoque integrado para el monitoreo de los flujos hidro-sedimentarios. De hecho, las herramientas de teledetección y de modelización hidrológica complementan ahora eficazmente los datos hidrológicos adquiridos *in situ*. Permiten extender la serie de mediciones y mejorar el monitoreo de las dinámicas espacio-temporales de la calidad del agua (sedimentos, contaminantes, etc.). Por lo tanto, son una alternativa para los servicios hidrológicos en las regiones con una baja densidad de estaciones hidrológicas, como lo es la Amazonía peruana.

Metodología: un enfoque integrado para el monitoreo de los flujos hidro-sedimentarios

Se realizarán campañas dedicadas a la calibración/validación de productos satelitales y de modelos hidrológicos, con el objetivo de desarrollar este enfoque integrado para el monitoreo de los flujos hidro-sedimentarios en la región Andina-Amazónica.

Los datos de altimetría de las misiones espaciales (JASON, ENVISAT, ALTIKA) se procesarán utilizando el software VALS, desarrollado por el equipo del SO HyBAm, para completar las mediciones *in situ*. Un monitoreo por satélite de las concentraciones en MES se realizará a través del procesamiento de imágenes espaciales (MODIS, VIIRS, SENTINEL 2&3). Finalmente, el modelo hidrológico SWAT+ será probado y, posiblemente, modificado para ser aplicado a las grandes cuencas de la región Andina-Amazónica peruana del río Amazonas: Ucayali, Marañón, Amazonas y Madre de Dios. El producto de precipitaciones desarrollado por el SENAMHI (PISCO) será utilizado como variable de entrada en el modelo hidrológico.

Resultados esperados

- Adaptar la hidrología espacial y las técnicas de modelización hidrológica al contexto amazónico en el Perú para desarrollar un enfoque integrado del monitoreo hidro-sedimentario de los grandes ríos en la cuenca Amazónica.
- Generar crónicas hidro-sedimentarias extensas y consistentes en estaciones virtuales (monitoreadas con mediciones satélite e/o con modelos hidrológicos).
- Diseñar nuevos protocolos de medición sedimentaria para mejorar la estimación de los flujos de materias y asegurar la complementariedad con las herramientas de hidrología espacial (altimetría, color del agua) o con el modelado hidrológico utilizado (SWAT).



Firmado digitalmente por FELIPE OBANDO Oscar Gustavo FAU 20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 09:11:37 -05:00



Firmado digitalmente por GONZALES QUISPE Luz Marina FAU 20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 26.07.2021 21:22:59 -05:00



Firmado digitalmente por ARTEAGA ARCE Daniel Alberto FAU 20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 18:49:16 -05:00

Actividad 4: Capacitaciones y transferencias tecnológicas

Para garantizar la producción de datos hidrológicos de calidad en el marco de las actividades del SO HyBAm en el Perú, se organizará capacitaciones técnicas. En primer lugar, esas capacitaciones se referirán a la medición in situ de los flujos hidro-sedimentarios, siguiendo los protocolos del SO HyBAm, pero también a la generación de una base de datos con los softwares desarrollados por el SO HyBAm, así como al análisis de la consistencia de las series hidrológicas producidas. En particular, se prestará especial atención a las técnicas de calibración para las relaciones de nivel de agua-caudal. Las capacitaciones también cubrirán la introducción de técnicas de medición innovadoras (por ejemplo, mediciones sedimentarias indirectas con instrumentos acústicos o láser), el uso de la altimetría espacial o de modelos hidrológicos.

Resultados esperados

- Una autonomía del personal del SENAMHI para la realización de mediciones hidro-sedimentarias, la generación de datos y el análisis de su consistencia.
- La transferencia de experiencia en modelización hidrológica e hidrología espacial para establecer un monitoreo integrado de los flujos hidro-sedimentarios en las cuencas monitoreadas.
- La producción de datos hidrológicos consistentes.

Metodología

Las capacitaciones y transferencias técnicas podrán tomar la forma de talleres o de escuelas de verano. Especialistas internacionales en los temas tratados podrán ser invitados. También pueden ser difusivas, Ad hoc o continuos, a través de la asignación del personal del IRD, colaborando con el personal técnico de SENAMHI en las actividades de campo y generación de datos hidro-sedimentológicos. Finalmente, los datos recopilados en el marco del SO HyBAm se podrán utilizar para la realización de MASTER o doctorado para el personal de SENAMHI que desee participar en dichas capacitaciones con el acuerdo de la dirección de SENAMHI.

Cronograma previsional

El cronograma de las actividades de capacitación se definirá regularmente de acuerdo con las necesidades del SENAMHI y las innovaciones técnico-científicas del SO HyBAm, o en el campo de la hidrometría a nivel mundial.

Actividad 5: Investigaciones en hidro-climatología y erosión

Para garantizar la producción científica en el marco de la presente adenda, las partes se comprometen a trabajar en conjunto para generar conocimiento en la cuenca andino-amazónica en el marco de las líneas de investigación del SENAMHI y el IRD con énfasis en el entendimiento de los procesos hidroclimatológicos y de erosión y considerando los cambios globales sobre todo climáticos y de usos de suelo. Para este propósito ambas partes en las medidas de sus posibilidades contribuirán con practicantes; tesis y profesionales de ambas instituciones que deseen realizar trabajos de investigación sea en Perú o en Francia. Asimismo, ambas partes participarán en llamadas a proyectos de investigación tanto nacionales como internacionales en el marco de esta actividad.

Resultados esperados

- Al menos 1 publicación científica por año en revistas científicas que incluya coautoría de ambas partes.
- Al menos 1 practicante en conjunto por año que realiza su tesis de pre-grado
- Al menos 1 tesis de maestría o doctorado en conjunto cada 2 años
- Al menos 1 proyecto de investigación sometido en conjunto cada 2 años

Metodología

Basado en la experiencia de los investigadores del SENAMHI y el IRD se establecerán trabajos en conjunto que vayan orientados a resolver problemas de interés de ambas partes. En ese sentido, la metodología a seguir para cumplir con esta actividad estará basada en la investigación aplicada de



Firmado digitalmente por ARTEAGA
ARCE Daniel Alberto FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 18:49:57 -05:00



Firmado digitalmente por FELIPE
OBANDO Oscar Gustavo FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 09:12:10 -05:00



Firmado digitalmente por
GONZALES QUISPE Luz Marina
FAU 20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 26.07.2021 21:23:30 -05:00

interés de ambas partes. Se espera utilizar los datos generados en las otras las actividades para generar conocimiento científico inédito y entender más a profundidad los procesos hidroclimáticos y de erosión; y considerando los cambios globales sobre todo climáticos y de usos de suelo en la cuenca Andino-Amazónica peruana.

Cronograma previsional

El cronograma de las pautas a seguir para esta actividad serán coordinadas por los representantes científicos de ambas instituciones generalmente anualmente y de manera no programada cuando se presenten oportunidades de proyectos de investigación u otros financiamientos.

Compromisos del IRD y del SENAMHI

- El tratamiento, la consolidación de los datos hidrológicos y la fase de interpretación se llevarán a cabo conjuntamente por ambas partes, en Perú y Francia.
- Los datos adquiridos serán compartidos por las dos instituciones y podrán ponerse a disposición de la comunidad científica internacional con el acuerdo previo de ambas partes, en particular a través del portal web del SO HyBAM.
- Los resultados obtenidos en el marco de la presente convención serán co-publicadas, en informes técnicos, revistas científicas internacionales o locales.
- Las publicaciones resultantes del trabajo realizado en el marco de la presente convención se realizarán conjuntamente e identificarán a las instituciones responsables del monitoreo y análisis de los datos.
- Ambas partes buscarán financiamiento adicional para mejorar las condiciones de realización de los proyectos definidos y para garantizar la continuidad del trabajo científico.

Personal involucrado

Institución	Personal	función	Temático	Actividad	Participación /tiempo completo
IRD	MARTINEZ Jean Michel	Director de investigación	Coordinación científica e institucional Hidrología espacial	2, 3, 4	10%
IRD	SANTINI William	Ingeniero hidrólogo	Hidro-sedimentología Modelización hidrológica Coordinación técnica	1, 2, 3, 4	33%
IRD	FRAIZY Pascal	Ingeniero hidrólogo	Bancarización de datos Actividades de campo	1	100%
IRD	LAGANE Christelle	Ingeniera en geoquímica	Análisis geoquímicos	1	10%
IRD	PRUNIER Jonathan	Ingeniero en geoquímica	Análisis geoquímicos	1	5%



Firmado digitalmente por ARTEAGA
ARCE Daniel Alberto FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 18:50:31 -05:00



Firmado digitalmente por
GONZALES QUISPE Luz Marina
FAU 20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 26.07.2021 21:23:59 -05:00



Firmado digitalmente por FELIPE
OBANDO Oscar Gustavo FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 09:13:16 -05:00

SENAMHI	LAVADO Waldo	Sub director de Estudios e Investigaciones Hidrológicas	Coordinación institucional Hidro-climatología	1, 2, 3, 4, 5	10%
SENAMHI	PAREDES Marco	Director Zonal hidrología	Coordinación institucional y técnica	1, 3,4	10%
SENAMHI	Cristian Montesinos	Ingeniero hidrólogo	Modelamiento Hidrológico	1, 4,5	10%
SENAMHI	Evelin Sabino	Ingeniero hidrólogo	Sedimentos en la Amazonía	3,4,5	10%
SENAMHI	Henry Asencios	Ingeniero Hidrólogo	Modelamiento Hidráulico	1,2,3,4,5	10%
SENAMHI	Nilton Fuertes	Ingeniero hidrólogo	Trabajo de campo	1,2,4	10%
SENAMHI	Jhonatan Paredes	Ingeniero hidrólogo	Trabajo de campo y laboratorio	1,2,3,4	10%

Lista de equipamiento y medios técnicos

Equipamientos principales:

- 1 ADCP RDI, modelo Rio Grande, 600 KHz + 2 antenas GPS garmin 5 Hz
- 1 LISST ABS y 1 LISST SL2
- 1 radar SVR marca DECATUR
- 1 laptop de campo
- 2 muestreadores para sedimentos tipo Van Dorn de 2L
- 1 wincho eléctrico Cannon
- 1 nivel óptico
- 3 rampas de filtración para laboratorio (1 en Iquitos, 2 en Lima)
- 2 bombas de vacío (1 en Iquitos, 1 en Lima)
- 2 balances de precisión
- 2 PH metros
- 2 conductímetros
- Pequeños materiales de laboratorio o destinados a los observadores para la recolección de datos sedimentarios y geoquímicos.

Medios técnicos:

Compromisos del IRD

El IRD se compromete a:

- Poner a disposición y enviar en misión, según sus posibilidades, al personal científico necesario para la realización óptima de las actividades de este convenio.
- Proporcionar el software y los códigos requeridos por el proyecto (Hydracess, Hydromesad y VALS).
- Proporcionar, en la medida de lo posible, un vehículo para realizar las actividades de campo.



Firmado digitalmente por ARTEAGA
ARCE Daniel Alberto FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 18:51:15 -05:00



Firmado digitalmente por
GONZALES QUISPE Luz Marina
FAU 20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 26.07.2021 21:24:35 -05:00



Firmado digitalmente por FELIPE
OBANDO Oscar Gustavo FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 09:14:41 -05:00

Compromisos del SENAMHI

El SENAMHI se compromete a:

- Colaborar en medida de sus posibilidades con el apoyo logístico para la realización de las campañas de medición hidrológica previstas en el marco de la presente convención.
- Poner a disposición, a tiempo parcial y de acuerdo con sus posibilidades, las infraestructuras y el personal necesarios para la realización óptima de las actividades de este acuerdo, como:
 - o un técnico para la generación de una base de datos y el análisis de consistencia de los datos.
 - o dos técnicos para la realización de actividades de campo.
 - o un técnico para los análisis de laboratorio.
- Coordinar con los observadores en las estaciones de su red hidrológica operada por el SO HyBAm.
- Apoyar, en la medida de lo posible, un vehículo o un bote motorizado para realizar las actividades de campo.
- Proporcionar, en la medida de lo posible, un espacio de trabajo para el personal del IRD disponible o en misión.
- Proporcionar, en la medida de lo posible, un espacio de trabajo para realizar las actividades de laboratorio necesarias (filtración MES en Iquitos).
- Compartir con el proyecto los datos de lluvia y de nivel de agua diarios de las estaciones estudiadas, con la autorización previa de la dirección.



Firmado digitalmente por
GONZALES QUISEP Luz Marina
FAU 20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 26.07.2021 21:25:00 -05:00



Firmado digitalmente por FELIPE
OBANDO Oscar Gustavo FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 09:13:44 -05:00



Firmado digitalmente por ARTEAGA
ARCE Daniel Alberto FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 18:52:04 -05:00

**AVENANT 5 À LA CONVENTION DE COOPÉRATION TECHNIQUE ENTRE
LE SERVICE NATIONAL DE METEOROLOGIE ET D'HYDROLOGIE DU PÉROU (SENAMHI)
ET L'INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT (IRD)**

Le présent document constitue l'Avenant N°5 à la Convention de Coopération Technique entre : D'une part,

LE SERVICE NATIONAL DE MÉTÉOROLOGIE ET D'HYDROLOGIE DU PÉROU, ci-après dénommé **SENAMHI**, dont l'adresse est Jirón Cahuide n° 785, Jesús María, Lima ; et représenté par son Président Exécutif, Dr. **Ken Takahashi** et d'autre part,

L'INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT, ci-après dénommé **IRD**, établissement public à caractère scientifique et technologique de la République française, dont le siège se situe dans l'immeuble Le Sextant, 44, Boulevard de Dunkerque, CS 90009, 13572 Marseille Cedex 2, France, représenté par sa Présidente Directrice Générale, Dra. **Valérie Verdier**.
Et ensemble désignés **LES PARTIES**;

VU La Convention de Coopération Technique entre le SENAMHI et l'IRD signée le 12 avril 2005 et les Avenants signés le 12 avril 2005, l'Avenant n° 1 signé le 25 mars 2009, l'Avenant n°2 signé le 16 juillet 2010, l'Avenant n° 3 signé le 26 juin 2013, l'avenant n° 4 signé le 13 avril 2017,

CONSIDÉRANT L'intérêt mutuel de l'IRD et du SENAMHI pour la réalisation des recherches en climatologie, hydrologie, géochimie et flux sédimentaires dans le bassin amazonien et dans les Andes du Pérou.

IL EST CONVENU CE QUI SUIT :

ARTICLE 1 : OBJET

Le présent avenant a pour objet de :

- 1) Actualiser les projets scientifiques et les responsables scientifiques décrits dans les annexes scientifiques N°1 et N°2.
- 2) Prolonger la durée de la Convention.

ARTICLE 2: DURÉE

La validité de la Convention cadre de Coopération Technique entre le SENAMHI-IRD est prolongée pour quatre (4) années, à partir du 13/04/2021.

ARTICLE 3: EFFICACITE ANTICIPEE

Les Parties conviennent de l'entrée en vigueur à partir du 13 avril 2021 du présent avenant, étant donné les activités menées dans le cadre de l'Accord.

ARTICLE 4: CORPUS CONTRACTUEL

Le document contractuel entre le SENAMHI et l'IRD se compose de la Convention de Coopération Technique, des Avenants n°1, n°2, n°3, n°4 et de cet Avenant et de ses Annexes Scientifiques n° 1 et n° 2.

Fait à Lima, en six (6) exemplaires originaux, dont trois (3) en français et trois (3) en espagnol, chacune des versions faisant pareillement foi, le08/07/2021.....2021.

Pour l'IRD

Pour le SENAMHI



Dra. Valérie VERDIER
Présidente Directrice Générale



Firmado digitalmente por TAKAHASHI
GUEVARA Ken FAU 20131366028
soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 30.07.2021 20:15:46 -05:00

Dr. Ken Takahashi
Président Exécutif



Firmado digitalmente por
GONZALES QUISPE Luz Marina
FAU 20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 26.07.2021 21:27:05 -05:00



Firmado digitalmente por FELIPE
OBANDO Oscar Gustavo FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 09:00:37 -05:00



Firmado digitalmente por ARTEAGA
ARCE Daniel Alberto FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 18:56:29 -05:00



Firmado digitalmente por BARRON
LOPEZ Jose Percy FAU
20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 19:55:03 -05:00

ANNEXE SCIENTIFIQUE N°1
L'HYDROCLIMATOLOGIE ET SA RELATION AVEC LES CHANGEMENTS D'UTILISATION
DES TERRES (DÉFORESTATION) DANS LA RÉGION DE L'AMAZONIE PÉRUVIENNE ET
ANDINE

Responsables scientifiques:

Pour l'IRD

Jhan Carlo Espinoza & Thomas Condom

Pour le SENAMHI :

Waldo Lavado Casimiro

1. PROBLÈMES ET OBJECTIFS GÉNÉRAUX

Le bassin du fleuve Amazone abrite la plus grande forêt tropicale du monde, qui joue un rôle clé dans la régulation du climat à l'échelle mondiale et régionale (Nobre et al., 2016 ; Salati et Vose, 1984). De cette façon, la forêt amazonienne module la circulation atmosphérique à différentes échelles spatiales et fournit de l'humidité aux régions voisines comme les Andes tropicales (Ampuero et al., 2020 ; Espinoza et al., 2020 ; Segura et al., 2020 ; Staal et al., 2018). À leur tour, les Andes tropicales sont la principale source de nutriments, de sédiments et de flux d'eau vers le bassin inférieur de l'Amazone (par exemple Espinoza et al., 2009a ; Guyot et al., 2007). Par conséquent, les Andes et l'Amazonie interagissent dans un équilibre fragile qui est menacé par les changements globaux, notamment le changement climatique et les modifications de l'utilisation des terres.

Actuellement, il y a un grand débat dans la communauté scientifique sur les changements environnementaux critiques qui pourraient conduire au point de non-retour, mieux connu dans la littérature comme "tipping point", de la forêt amazonienne, ce qui signifie une perte irréversible de sa biodiversité (Davidson et al., 2012 ; Nobre et al., 2016). Malgré certaines estimations basées sur des modèles qui associent les valeurs du point de basculement de la forêt tropicale amazonienne à une augmentation de la température mondiale de 3-4°C ou à des taux de déforestation supérieurs à 40 % (Lenton et al., 2008 ; Nobre et al., 2016 ; Salazar et Nobre, 2010), des études récentes montrent que ce point de non-retour est influencé par la combinaison de plusieurs facteurs tels que la déforestation, les feux naturels ou provoqués et la variabilité du climat (Aragão et al., 2018 ; Brando et al., 2020 ; Lovejoy et Nobre, 2018). Cependant, des incertitudes demeurent en raison de processus biophysiques encore inconnus et de scénarios hypothétiques de déforestation (Lawrence et Vandecar, 2015 ; Sampaio et al., 2007).

Estudios recientes muestran la posible existencia de un acoplamiento entre la pérdida de bosques en la Amazonia y los cambios en los componentes del régimen hidrológico y climático, como la evapotranspiración o la cantidad de lluvia (Lawrence and Vandecar, 2015; Sampaio et al., 2007; Spracklen et al., 2012), la duración de la estación seca (Aragão et al., 2018; Arias et al., 2015; Fu et al., 2013; Khanna et al., 2017; Marengo et al., 2011; Ruiz-Vásquez et al., 2020; S. Debortoli et al., 2015; Wright et al., 2017), entre otros. La



Firmado digitalmente por
GONZALES QUISPE Luz Marina
FAU 20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 26.07.2021 21:27:34 -05:00



Firmado digitalmente por FELIPE
OBANDO Oscar Gustavo FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 08:51:04 -05:00



Firmado digitalmente por ARTEAGA
ARCE Daniel Alberto FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 18:56:48 -05:00

mayoría de estos estudios están limitados a la Amazonia brasileña (Debortoli et al., 2017; Fu et al., 2013; Leite-Filho et al., 2019; S. Debortoli et al., 2015).

Des études récentes montrent l'existence possible d'un lien entre la perte de forêts en Amazonie et les changements des composantes du régime hydrologique et climatique, comme par exemple l'évapotranspiration ou la quantité de pluie (Lawrence et Vandecar, 2015 ; Sampaio et al, 2007 ; Spracklen et al., 2012), la durée de la saison sèche (Aragão et al., 2018 ; Arias et al., 2015 ; Fu et al., 2013 ; Khanna et al., 2017 ; Marengo et al., 2011 ; Ruiz-Vásquez et al., 2020 ; S. Debortoli et al., 2015 ; Wright et al., 2017). Cependant, notons que la plupart de ces études sont limitées à l'Amazonie brésilienne (Debortoli et al., 2017 ; Fu et al., 2013 ; Leite-Filho et al., 2019 ; S. Debortoli et al., 2015).

Ce problème est particulièrement pertinent dans l'Amazonie des pays andins, considérée comme l'une des zones ayant la plus grande biodiversité de la planète (Zenit, 2019) et la région la plus pluvieuse de tout le bassin amazonien (Espinoza et al., 2009b, 2015). D'autre part, l'Amazonie péruvienne a signalé ces dernières années une intensification des événements hydro-climatiques extrêmes, qui ont eu un impact direct sur l'état végétatif de la forêt (Espinoza et al., 2016 ; Lavado Casimiro et al., 2013 ; Marengo et Espinoza, 2016 ; Wongchuig-Correa et al., 2020). En outre, diverses activités humaines telles que l'exploitation forestière illégale, l'exploitation minière illégale, etc., mettent en péril l'avenir du fragile équilibre climatique entre l'Amazonie et les Andes. En effet, grâce à l'utilisation de modèles couplés surface/atmosphère, des études récentes ont montré que les précipitations dans les Andes péruviennes pourraient diminuer de manière significative en raison de la déforestation en Amazonie (par exemple, Lejeune et al., 2015 ; Ruiz-Vásquez et al., 2020). Par conséquent, cela pourrait mettre en péril la sécurité du pays en matière d'eau, d'énergie et de nourriture.

Dans le cadre de cette problématique, les chercheurs du SENAMHI et de l'IRD interagissent depuis plus de 15 ans pour améliorer notre compréhension du système Andes-Amazone et pour prévoir les impacts possibles des changements environnementaux sur les ressources en eau. Dans le présent programme de recherche, nos activités seront orientées vers l'étude de la connectivité, en termes hydrologiques et climatiques, de la forêt amazonienne (en partie au Pérou) et des ressources en eau des bassins andins, particulièrement dépendantes des précipitations saisonnières. Notre objectif final sera de réduire les incertitudes concernant les impacts possibles de la déforestation amazonienne sur les ressources en eau au Pérou.



Firmado digitalmente por ARCE Daniel Alberto FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 18:57:09 -05:00

Les chercheurs qui dirigent cette initiative ont une longue histoire de collaboration de plus de 15 ans, au cours de laquelle ils ont co-publié plus de 20 articles scientifiques dans des revues internationales à fort facteur d'impact. De plus, les chercheurs font partie de structures co-construites entre l'IRD et le SENAMHI telles que LMI-GREATICE, SNO-HYBAM, etc., ce qui garantit le développement adéquat et la continuité de ce projet. Enfin, ces chercheurs font partie de projets et de programmes internationaux directement liés au thème abordé dans ce programme, comme le groupe de travail régional sur l'hydrogéomorphologie du bassin andin-amazonien du PHI-ALC de l'UNESCO ; le programme hydroclimatique régional andin (ANDEX) sous le parrainage de GEWEX, le groupe scientifique pour l'Amazonie (SPA) sous les auspices du "Sustainable Development Solutions Network (SDSN)" des Nations unies, et le projet de connectivité Amazone-Andes (AMANECER) de l'initiative du gouvernement français "Make Our Planet Great Again", qui donnera une visibilité et une pertinence internationale aux travaux développés dans ce programme.



Firmado digitalmente por FELIPE OBANDO Oscar Gustavo FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 08:51:43 -05:00



Firmado digitalmente por GONZÁLES QUISPE Luz Marina FAU 20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 26.07.2021 21:28:03 -05:00

2 - OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

Ce programme a les objectifs spécifiques suivants :

- Analyser les changements du régime hydrologique et climatique associés aux modifications du couvert végétal dans le bassin de l'Amazonie péruvienne.
- Evaluer les variables du cycle hydrologique et les conditions végétatives générées par les données de télédétection pour la modélisation hydrologique et climatique dans les bassins andins-amazoniens.
- Effectuer une modélisation atmosphérique à haute résolution dans les bassins caractéristiques de la région de transition Andes-Amazonie.
- Évaluer les impacts des futurs scénarios de déforestation et de changement climatique en Amazonie sur la disponibilité de l'eau dans la région andine.
- Formuler des projets de recherche pour la gestion des ressources (nationales et internationales) et participer à la formation des chercheurs.

3 – MÉTHODES

3.1. analyser les changements du régime hydrologique et climatique associés aux modifications du couvert végétal dans le bassin de l'Amazonie péruvienne

Les changements du régime hydrologique et climatique seront analysés par l'analyse des changements dans l'équilibre des eaux de surface et de l'énergie, sur la base du cadre du Budyko et de sa relation avec les changements du couvert végétal (Wongchuig-Correa et al., 2020). Cette analyse fournit une relation entre le taux d'évaporation (ER) (évapotranspiration réelle par rapport aux précipitations), le taux de sécheresse (DRI) (évapotranspiration potentielle par rapport aux précipitations) (Budyko, 1974) et l'évolution des deux taux dans le temps en fonction des changements du couvert végétal. Cela fournit des informations sur les régions à énergie limitée ($IS < 1$) et à eau limitée ($IS > 1$) et donc une approximation d'une transition possible d'un état de forêt tropicale à un état de savane.

Compte tenu de la disponibilité actuelle des informations hydro-climatiques et des couvertures végétales au niveau mondial grâce à de nombreuses bases de données satellites notamment, l'analyse en Amazonie péruvienne sera effectuée de manière distribuée dans l'espace et dans le temps des principales variables hydro-climatiques (validées selon la méthodologie 3.2) en relation avec les changements de la couverture végétale.

3.2 Pour la validation des variables du cycle hydrologique et des conditions végétatives générées par les données de télédétection et de modélisations hydrologiques

Certaines études antérieures ont évalué la cohérence des variables du cycle hydrologique (généralement les précipitations, l'évapotranspiration, l'eau dans le sol, etc.) dans les Andes et l'Amazonie péruvienne (Chavez et Takahashi, 2017 ; Condom et al., 2020, 2011 ; Espinoza et al., 2019 ; Mourre et al., 2016 ; Paccini et al., 2018 ; Satgé et al., 2019). Dans le cadre de la présente recherche, il sera d'abord évalué l'ensemble des produits à l'échelle régionale dans des bassins pilotes (par exemple Vilcanota, Apurimac, etc.) qui présentent des caractéristiques typiques de la région de transition Andes-Amazonie. Cette évaluation sera réalisée en fractionnant la période récente en sous-périodes : 2001-2005, 2005-2009, 2009-2013 et 2013-2017 pour les données à pas de temps journalier telles que les



Firmado digitalmente por ARTEAGA
ARCE Daniel Alberto FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 18:57:43 -05:00



Firmado digitalmente por FELIPE
OBANDO Oscar Gustavo FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 08:52:11 -05:00



Firmado digitalmente por
GONZALES QUISPE Luz Marina
FAU 20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 26.07.2021 21:28:33 -05:00

précipitations. Les données seront évaluées selon différents critères statistiques, tels que le coefficient de corrélation (CC), l'écart-type (ET), le pourcentage de biais (%B) et l'erreur quadratique moyenne centrée (EQMCC). Enfin, grâce à l'utilisation des observations de débits, nous proposerons une analyse du bilan hydrique de surface ($DS=P-R-Et$) qui nous permettra d'évaluer l'erreur relative des différentes bases de données composant le cycle hydrologique. Ces analyses, bien que simples, sont d'une importance fondamentale pour la compréhension de notre capacité d'observation du cycle hydrologique du coclo, particulièrement important dans l'Amazonie andine (par exemple Builes-Jaramillo et Poveda, 2018).

Avec la sélection des bases de données les plus appropriées, la représentation spatio-temporelle des précipitations dans le bassin sera réalisée, en utilisant les techniques géostatistiques d'interpolation. Ces informations spatio-temporelles seront utilisées pour la modélisation hydrologique et l'évaluation de la réponse hydrologique du bassin pour la période 1981-actuel, en identifiant les variations de la disponibilité de l'eau suite à la variation de la végétation (dégradation due à la déforestation, changement d'utilisation, entre autres) tout au long de la période d'analyse.

Dans le cas du SENAMHI, nous travaillons avec le modèle hydrologique SWAT ("Soil and Water Assessment Tool") car nous avons une grande expérience de ce modèle hydrologique et qu'il est approprié pour évaluer les impacts de la déforestation sur les ressources en eau.

3.3 Pour la modélisation atmosphérique et les scénarios de déforestation

L'étude de l'interaction entre l'atmosphère et la surface sera réalisée en mettant en œuvre un modèle atmosphérique à haute résolution dans le bassin de l'Amazonie occidentale et dans la région de transition Andes-Amazone. Les processus atmosphériques à l'échelle régionale et locale seront analysés par le modèle WRF (Weather Research and Forecasting) qui a été validé dans la région de Cusco dans Junquas et al (2018). Le modèle sera analysé à différentes échelles spatiales (27, 9, 3 et 1 km de résolution spatiale). Par la suite, la sensibilité des variables atmosphériques aux scénarios de changement de la couverture végétale (y compris la déforestation) dans le bassin de l'Amazonie sera évaluée à l'aide de WRF. Les scénarios d'occupation des sols proviendront du projet MOPGA (PI. JC Espinoza), qui est en cours depuis octobre 2018. Notons que le WRF est le seul modèle haute résolution validé précédemment dans la région amazonienne sous des scénarios de changement en surface (Bagley et al., 2014) et dans des régions à topographie complexe (Junquas et al., 2018 ; Saavedra et al., 2020). La validation des résultats du WRF dans notre région d'étude sera faite avec les bases de données validées de la section 3.2.

3.4 Action participatives pour des projets de recherche

Notre équipe de recherche a pour priorité de rechercher des fonds externes pour le fonctionnement de notre programme de recherche. En particulier, nous prévoyons de solliciter des fonds nationaux (par exemple, Fondecyt) et internationaux (principalement mais pas exclusivement de la coopération française). A l'heure actuelle, cette équipe de recherche a déjà été subventionnée au Travers de différents projets (ECOS-Nord et ClimatAmSud), qui permettront d'initier les objectifs du présent programme. Enfin, notre participation à différents programmes et structures internationaux (mentionnés dans l'introduction) nous permettra d'avoir une vue d'ensemble des possibilités de financement de la recherche.

En outre, pour le développement adéquat de ce projet, il est prévu

- des réunions des équipes de travail au moins une fois par an en personne.



Firmado digitalmente por ARTEAGA
ARCE Daniel Alberto FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 18:58:25 -05:00



Firmado digitalmente por FELIPE
OBANDO Oscar Gustavo FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 08:52:41 -05:00



Firmado digitalmente por
GONZALES QUISPE Luz Marina
FAU 20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 26.07.2021 21:29:18 -05:00

- des réunions des équipes de travail au moins tous les six mois, soit virtuellement soit en personne.
- la formation d'étudiants (thèse d'ingénieur ou de licence, master et doctorat, en fonction des possibilités de financement et des candidats).
- la participation à des congrès scientifiques internationaux et nationaux
- la publication des résultats dans des revues scientifiques internationales indexées

4 - ENGAGEMENTS SENAMHI/TIERS

Le SENAMHI s'engage à fournir :

- Salaires de son personnel
- Frais de voyage de son personnel pour les activités sur le terrain
- Bureaux et laboratoires

L'IRD s'engage à fournir :

- Salaire de son personnel
- Frais de voyage de son personnel pour les activités sur le terrain
- Budget annuel de fonctionnement (missions, équipement, conférences, etc.)

5 — PARTICIPANTS —

Equipe scientifique de

l'IRD:

Jhan Carlo Espinoza (IRD/IGE), Clementine Junquas (IGE/IRD), Thomas Condom (IGE/IRD), Sly Wongchuig Correa (IGE/IRD), Jean Emmanuel Sicart (IGE/IRD), Thierry Lebel (IRD/IGE),

Equipe scientifique du SENAMHI:

Waldo Sven Lavado Casimiro (DHI), Cristian Montesinos Caceres (DHI), Evelin Sabino (DHI), Harold Llauca (DHI), Gerardo Jacome (DMA), Jhonatan Paredes (DMA), Karim Quevedo (DAM).



References

- Ampuero, A., Stríkis, N.M., Apaéstegui, J., Vuille, M., Novello, V.F., Espinoza, J.C., Cruz, F.W., Vonhof, H., Mayta, V.C., Martins, V.T.S., Cordeiro, R.C., Azevedo, V., Sifeddine, A., 2020. The Forest Effects on the Isotopic Composition of Rainfall in the Northwestern Amazon Basin, Journal of Geophysical Research: Atmospheres. <https://doi.org/10.1029/2019JD031445>
- Magão, L.E.O.C., Anderson, L.O., Fonseca, M.G., Rosan, T.M., Vedovato, L.B., Wagner, F.H., Silva, C.V.J., Silva Junior, C.H.L., Arai, E., Aguiar, A.P., Barlow, J., Berenguer, E., Deeter, M.N., Domingues, L.G., Gatti, L., Gloor, M., Malhi, Y., Marengo, J.A., Miller, J.B., Phillips, O.L., Saatchi, S., 2018. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. Nat. Commun. 9, 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02771-y>
- Arias, P.A., Fu, R., Vera, C., Rojas, M., 2015. A correlated shortening of the North and South American monsoon seasons in the past few decades. Clim. Dyn. 45, 3183–3203.



Firmado digitalmente por FELIPE OBANDO Óscar Gustavo FAU 20131366028 hard Motivo: Doy V° B° Fecha: 27.07.2021 18:59:26 -05:00



Firmado digitalmente por GONZALES QUISPE Luz Marina FAU 20131366028 soft Motivo: Doy V° B° Fecha: 26.07.2021 21:29:54 -05:00

<https://doi.org/10.1007/s00382-015-2533-1>

- Bagley, J.E., Desai, A.R., Harding, K.J., Snyder, P.K., Foley, J.A., 2014. Drought and deforestation: Has land cover change influenced recent precipitation extremes in the Amazon? *J. Clim.* 27, 345–361. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00369.1>
- Brando, P.M., Soares-Filho, B., Rodrigues, L., Assunção, A., Morton, D., Tuschneider, D., Fernandes, E.C.M., Macedo, M.N., Oliveira, U., Coe, M.T., 2020. The gathering firestorm in southern Amazonia. *Sci. Adv.* 6, 1–10. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aay1632>
- Budyko, M.I., 1974. Edited by, in: Budyko, M.I.B.T.-I.G. (Ed.), *Climate and Life*. Academic Press, p. iii. [https://doi.org/10.1016/S0074-6142\(09\)60001-2](https://doi.org/10.1016/S0074-6142(09)60001-2)
- Builes-Jaramillo, A., Poveda, G., 2018. Conjoint Analysis of Surface and Atmospheric Water Balances in the Andes-Amazon System. *Water Resour. Res.* 54, 3472–3489. <https://doi.org/10.1029/2017WR021338>
- Chavez, S.P., Takahashi, K., 2017. Orographic rainfall hot spots in the Andes-Amazon transition according to the TRMM precipitation radar and in situ data. *J. Geophys. Res. Atmos.* 122, 5870–5882. <https://doi.org/10.1002/2016JD026282>
- Condom, T., Martínez, R., Pabón, J.D., Costa, F., Pineda, L., Nieto, J.J., López, F., Villacis, M., 2020. Climatological and Hydrological Observations for the South American Andes: In situ Stations, Satellite, and Reanalysis Data Sets. *Front. Earth Sci.* 8, 1–20. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00092>
- Condom, T., Rau, P., Espinoza, J.C., 2011. Correction of TRMM 3B43 monthly precipitation data over the mountainous areas of Peru during the period 1998–2007. *Hydrol. Process.* 25, 1924–1933. <https://doi.org/10.1002/hyp.7949>
- Davidson, E.A., De Araújo, A.C., Artaxo, P., Balch, J.K., Brown, I.F., Mercedes, M.M., Coe, M.T., Defries, R.S., Keller, M., Longo, M., Munger, J.W., Schroeder, W., Soares-Filho, B.S., Souza, C.M., Wofsy, S.C., 2012. The Amazon basin in transition. *Nature* 481, 321–328. <https://doi.org/10.1038/nature10717>
- Debortoli, N.S., Dubreuil, V., Hirota, M., Filho, S.R., Lindoso, D.P., Nabucet, J., 2017. Detecting deforestation impacts in Southern Amazonia rainfall using rain gauges. *Int. J. Climatol.* 37, 2889–2900. <https://doi.org/10.1002/joc.4886>
- Espinoza, J.C., Chavez, S., Ronchail, J., Junquas, C., Takahashi, K., Lavado, W., 2015. Rainfall hotspots over the southern tropical Andes: Spatial distribution, rainfall intensity, and relations with large-scale atmospheric circulation. *Water Resour. Res.* 51, 3459–3475. <https://doi.org/10.1002/2014WR016273>
- Espinoza, J.C., Garreaud, R., Poveda, G., Arias, P.A., Molina-Carpio, J., Masiokas, M., Viale, M., Scaff, L., 2020. Hydroclimate of the Andes Part I: Main Climatic Features. *Front. Earth Sci.* 8, 1–20. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00064>
- Espinoza, J.C., Guyot, J.L., Ronchail, J., Cochonneau, G., Filizola, N., Fraizy, P., Labat, D., de Oliveira, E., Ordoñez, J.J., Vauchel, P., 2009a. Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon basin (1974–2004). *J. Hydrol.* 375, 297–311. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.03.004>
- Espinoza, J.C., Ronchail, J., Guyot, J.L., Cochonneau, G., Naziano, F., Lavado, W., De Oliveira, E., Pombosa, R., Vauchel, P., 2009b. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). *Int. J. Climatol.* 29, 1574–1594. <https://doi.org/10.1002/joc.1791>
- Espinoza, J.C., Ronchail, J., Marengo, J.A., Segura, H., 2019. Contrasting North–South changes in Amazon wet-day and dry-day frequency and related atmospheric features (1981–2017). *Clim. Dyn.* 52, 5413–5430. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4462-2>
- Espinoza, J.C., Segura, H., Ronchail, J., Drapeau, G., Gutierrez-Cori, O., 2016. Evolution of wet-day and dry-day frequency in the western Amazon basin: Relationship with atmospheric circulation and impacts on vegetation. *Water Resour. Res.* 52, 8546–8560. <https://doi.org/10.1002/2016WR019305>
- Fu, R., Yin, L., Li, W., Arias, P.A., Dickinson, R.E., Huang, L., Chakraborty, S., Fernandes, K.,



Firmado digitalmente por ARTEAGA
ARCE Daniel Alberto FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 19:00:02 -05:00



Firmado digitalmente por FELIPE
OBANDO Óscar Gustavo FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 08:54:29 -05:00



Firmado digitalmente por
GONZALES QUISPE Luz Marina
FAU 20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 26.07.2021 21:30:28 -05:00

- Liebmann, B., Fisher, R., Myneni, R.B., 2013. Increased dry-season length over southern Amazonia in recent decades and its implication for future climate projection. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 110, 18110–18115. <https://doi.org/10.1073/pnas.1302584110>
- Guyot, J.L., Jouanneau, J.M., Soares, L., Boaventura, G.R., Maillet, N., Lagane, C., 2007. Clay mineral composition of river sediments in the Amazon Basin. *Catena* 71, 340–356. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.02.002>
- Junquas, C., Takahashi, K., Condom, T., Espinoza, J.C., Chavez, S., Sicart, J.E., Lebel, T., 2018. Understanding the influence of orography on the precipitation diurnal cycle and the associated atmospheric processes in the central Andes. *Clim. Dyn.* 50, 3995–4017. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3858-8>
- Khanna, J., Medvigy, D., Fueglistaler, S., Walko, R., 2017. Regional dry-season climate changes due to three decades of Amazonian deforestation. *Nat. Clim. Chang.* 7, 200–204. <https://doi.org/10.1038/nclimate3226>
- Lavado Casimiro, W.S., Labat, D., Ronchail, J., Espinoza, J.C., Guyot, J.L., 2013. Trends in rainfall and temperature in the Peruvian Amazon-Andes basin over the last 40 years (1965–2007). *Hydrol. Process.* <https://doi.org/10.1002/hyp.9418>
- Lawrence, D., Vandecar, K., 2015. Effects of tropical deforestation on climate and agriculture. *Nat. Clim. Chang.* 5, 27–36. <https://doi.org/10.1038/nclimate2430>
- Leite-Filho, A.T., de Sousa Pontes, V.Y., Costa, M.H., 2019. Effects of Deforestation on the Onset of the Rainy Season and the Duration of Dry Spells in Southern Amazonia. *J. Geophys. Res. Atmos.* 124, 5268–5281. <https://doi.org/10.1029/2018JD029537>
- Lejeune, Q., Davin, E.L., Guillod, B.P., Seneviratne, S.I., 2015. Influence of Amazonian deforestation on the future evolution of regional surface fluxes, circulation, surface temperature and precipitation. *Clim. Dyn.* 44, 2769–2786. <https://doi.org/10.1007/s00382-014-2203-8>
- Lenton, T.M., Held, H., Kriegler, E., Hall, J.W., Lucht, W., Rahmstorf, S., Schellnhuber, H.J., 2008. Tipping elements in the Earth's climate system. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 105, 1786–1793. <https://doi.org/10.1073/pnas.0705414105>
- Lovejoy, T.E., Nobre, C., 2018. Amazon tipping point. *Sci. Adv.* 4, 1–2. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aat2340>
- Marengo, J.A., Espinoza, J.C., 2016. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: Causes, trends and impacts. *Int. J. Climatol.* 36, 1033–1050. <https://doi.org/10.1002/joc.4420>
- Marengo, J.A., Tomasella, J., Alves, L.M., Soares, W.R., Rodriguez, D.A., 2011. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophys. Res. Lett.* 38, 1–5. <https://doi.org/10.1029/2011GL047436>
- Mourre, L., Condom, T., Junquas, C., Lebel, T., E. Sicart, J., Figueroa, R., Cochachin, A., 2016. Spatio-temporal assessment of WRF, TRMM and in situ precipitation data in a tropical mountain environment (Cordillera Blanca, Peru). *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 20, 125–141. <https://doi.org/10.5194/hess-20-125-2016>
- Nobre, C.A., Sampaio, G., Borma, L.S., Castilla-Rubio, J.C., Silva, J.S., Cardoso, M., 2016. Land-use and climate change risks in the amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 113, 10759–10768. <https://doi.org/10.1073/pnas.1605516113>
- iccini, L., Espinoza, J.C., Ronchail, J., Segura, H., 2018. Intra-seasonal rainfall variability in the Amazon basin related to large-scale circulation patterns: a focus on western Amazon-Andes transition region. *Int. J. Climatol.* 38, 2386–2399. <https://doi.org/10.1002/joc.5341>
- Ruiz-Vásquez, M., Arias, P.A., Martinez, A., Espinoza, J.C., 2020. Effects of Amazon basin deforestation on regional atmospheric circulation and water vapor transport towards tropical South America. *Clim. Dyn.* <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05223-4>
- S. Debortoli, N., Dubreuil, V., Funatsu, B., Delahaye, F., de Oliveira, C.H., Rodrigues-Filho, S.,



Firmado digitalmente por ARTEAGA
ARCE Daniel Alberto FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 19:00:49 -05:00



Firmado digitalmente por FELIPE
OBANDO Oscar Gustavo FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 08:53:49 -05:00



Firmado digitalmente por
GONZALES QUISPE Luz Marina
FAU 20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 26.07.2021 21:31:09 -05:00

- Saito, C.H., Fetter, R., 2015. Rainfall patterns in the Southern Amazon: a chronological perspective (1971–2010). *Clim. Change* 132, 251–264. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1415-1>
- Saavedra, M., Junquas, C., Espinoza, J.C., Silva, Y., 2020. Impacts of topography and land use changes on the air surface temperature and precipitation over the central Peruvian Andes. *Atmos. Res.* 234, 104711. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104711>
- Salati, E., Vose, P.B., 1984. Amazon Basin: A system in equilibrium. *Science* (80-.). 225, 129–138. <https://doi.org/10.1126/science.225.4658.129>
- Salazar, L.F., Nobre, C.A., 2010. Climate change and thresholds of biome shifts in Amazonia. *Geophys. Res. Lett.* 37, n/a-n/a. <https://doi.org/10.1029/2010GL043538>
- Sampaio, G., Nobre, C., Costa, M.H., Satyamurty, P., Soares-Filho, B.S., Cardoso, M., 2007. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. *Geophys. Res. Lett.* 34, 1–7. <https://doi.org/10.1029/2007GL030612>
- Satgé, F., Ruelland, D., Bonnet, M.P., Molina, J., Pillco, R., 2019. Consistency of satellite-based precipitation products in space and over time compared with gauge observations and snow- hydrological modelling in the Lake Titicaca region. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 23, 595–619. <https://doi.org/10.5194/hess-23-595-2019>
- Segura, H., Espinoza, J.C., Junquas, C., Lebel, T., Vuille, M., Garreaud, R., 2020. Recent changes in the precipitation-driving processes over the southern tropical Andes/western Amazon. *Clim. Dyn.* 54, 2613–2631. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05132-6>
- Spracklen, D. V., Arnold, S.R., Taylor, C.M., 2012. Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests. *Nature* 489, 282–285. <https://doi.org/10.1038/nature11390>
- Staal, A., Tuinenburg, O.A., Bosmans, J.H.C., Holmgren, M., van Nes, E.H., Scheffer, M., Zemp, D.C., Dekker, S.C., 2018. Forest-rainfall cascades buffer against drought across the Amazon. *Nat. Clim. Chang.* 8, 539–543. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0177-y>
- Wongchuig-Correa, S., Espinoza, J.C., Condom, T., Segura, H., Ronchail, J., Arias, P.A., Junquas, C., Rabatel, A., Lebel, T., 2020. A regional view of Amazon rainforest-to-savanna transition: water cycle changes vs. deforestation. *Proc. Natl. Acad. Sci.*
- Wright, J.S., Fu, R., Worden, J.R., Chakraborty, S., Clinton, N.E., Risi, C., Sun, Y., Yin, L., 2017. Rainforest-initiated wet season onset over the southern Amazon. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 114, 8481–8486. <https://doi.org/10.1073/pnas.1621516114>
- Zenit, 2019. Amazonía peruana: Una de las zonas con mayor biodiversidad del planeta [WWW Document]. URL <https://es.zenit.org/2019/09/03/la-amazonia-peruana-una-de-las-zonas-con-mayor-biodiversidad-del-planeta/>



Firmado digitalmente por
GONZALES QUIJSE Luz Marina
FAU 20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 26.07.2021 21:31:35 -05:00



Firmado digitalmente por FELIPE
OBANDO Óscar Gustavo FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 08:55:11 -05:00



Firmado digitalmente por ARTEAGA
ARCE Daniel Alberto FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 19:01:41 -05:00

ANNEXE SCIENTIFIQUE N°2

HYDROLOGIE DU BASSIN DE L'AMAZONE (SERVICE D'OBSERVATION HYBAM)

Responsable(s) de l'axe de recherche

- **Pour l'IRD** : M. MARTINEZ Jean-Michel (directeur scientifique du SO HYBAM).
- **Pour le SENAMHI** : M. Waldo Lavado Casimiro (Sous-directeur des études et recherches hydrologiques)

Problématique générale

Le fleuve Amazone s'écoule à travers un bassin d'échelle continentale ($6 \cdot 10^6$ km²), sur deux hémisphères. Ses flux en eaux douces, sédiments, éléments dissous et matières organiques influencent la composition physico-chimique des eaux océaniques à l'est du continent sud-américain. Cependant, les dynamiques hydro-sédimentaires internes au bassin de l'Amazone, répondant à des forçages climatiques et tectoniques ou à des pressions anthropiques, peuvent influencer les grands cycles climatiques globaux, par exemple, à travers des variations significatives de son énorme biomasse.

Au cours des dernières décennies, le bassin du fleuve Amazone a été confronté à une variabilité climatique croissante et à une pression anthropique grandissante. Les Andes, une source de sédiments et de nutriments qui alimente la méga biodiversité de l'Amazonie, connaissent une extension rapide de la déforestation, un changement inquiétant d'affectation des sols et la prolifération de nouvelles routes terrestres construites pour exploiter les innombrables ressources naturelles de cette région. En outre, de grands projets de barrages à eau sont en cours de réalisation ou sont en projet.

Ces changements globaux et locaux peuvent affecter le fonctionnement hydro-sédimentaire de l'ensemble du bassin. Dans ce contexte, la mesure de phénomènes hydro-sédimentaires chroniques et géochimiques importants et constants est devenue un thème crucial pour surveiller et comprendre les impacts environnementaux sur le biome amazonien et socio-économiques pour les populations humaines du bassin.

C'est pourquoi le Service d'observation HyBAm (hydrologie du bassin amazonien) a été créé en 2003 pour étudier les contrôles climatiques et tectoniques qui contrôlent le transfert de matières et d'eau dans le bassin, pour évaluer les impacts de la variabilité climatique et des modifications anthropiques de ces transferts. Ainsi, le SO HyBAm, dont le SENAMHI et l'IRD sont des partenaires historiques et centraux, produit et diffuse à la communauté scientifique des données hydro sédimentaires et géochimiques. Grâce à HyBAm, de nombreuses connaissances et expériences scientifiques et techniques internationales sont générées auprès du personnel des instituts, agences et universités partenaires, grâce à des actions de formation technique, de supervision des étudiants, le transfert et le développement d'innovations technologiques et de projets de recherche associés.



Firmado digitalmente por ARTEAGA
ARCE Daniel Alberto FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 19:02:22 -05:00



Firmado digitalmente por FELIPE
OBANDO Oscar Gustavo FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 08:56:05 -05:00

Activités spécifiques

Activité 1 : Surveillance hydro-sédimentaire des grands fleuves de l'Amazonie : renforcer les capacités opérationnelles, assurer la production et la production de données

Pendant la durée du présent accord, le SENAMHI et l'IRD continueront à exploiter et à entretenir le réseau de stations hydrologiques étiquetées par le SO HyBAm en Amazonie péruvienne. Il s'agira



Firmado digitalmente por
GONZALES QUISPE Luz Marina
FAU 20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 26.07.2021 21:32:44 -05:00

d'assurer la continuité des mesures du niveau de l'eau, des débits et de la qualité de l'eau réalisées conjointement depuis 2003 dans le cadre du SO HyBAM. Le réseau pourra éventuellement s'adapter aux nouveaux défis socio-environnementaux de la région, avec la création de nouveaux points de mesure *in situ*, sous réserve de financement.

Les capacités analytiques du SO HyBAM au Pérou seront augmentées avec la création d'un nouveau laboratoire de filtration des matières en suspension (MES) au siège régional d'Iquitos du SENAMHI. L'IRD s'engage à acheter les matériaux pour l'installation de ce laboratoire, et à participer aux frais pour les matériaux consommables (p. ex. filtres). Le Senamhi s'engage à fournir le local avec l'espace adéquat avec eau, électricité et accès internet, les techniciens pour réaliser les analyses et rapporter les résultats dans une base de données, ainsi qu'à coordonner les questions logistiques avec l'IRD.

Spécifiquement dans le département d'Iquitos, le SENAMHI s'engage à assurer la surveillance de ses 4 stations qui font partie du SO HyBAM (Tamshiyacu, San Regis, Requena et Bellavista), en collaboration avec l'IRD pour financer certaines opérations, acheter du matériel, former les techniciens de la DZ de Loreto, stocker les données et analyser leur cohérence.

Résultats attendus

- Maintenir le réseau de mesure hydrométrique du SENAMHI partie du SO HyBAM au Pérou.
- Acquérir et stocker les données hydrologiques et géochimiques recueillies dans le cadre des activités du SO HyBAM au Pérou.
- Analyser la consistance de ces données en coordination avec l'IRD.
- Générer des chroniques hydro-sédimentaires étendues et cohérentes en coordination avec l'IRD.
- Sous réserve de financement et en accord avec les parties, améliorer le réseau hydrologique de manière rationnelle pour répondre aux nouveaux défis socio-environnementaux de la région.

Méthodologie

Les campagnes de mesure *in situ* seront planifiées et organisées conjointement, plusieurs fois par an, afin d'assurer le bon fonctionnement du réseau et de recueillir les données obtenues par les observateurs du SENAMHI affectés à ces stations. L'instrumentation limnimétrique des stations sera maintenue et nivelée à chaque visite, sous réserve de la disponibilité sur les sites de mesure. Les observateurs du Senamhi prélèvent également des échantillons de MES sur la rivière, conformément au plan d'échantillonnage défini par les protocoles du SO HyBAM. En particulier, pour les stations de Borja (Marañon) et Lagarto (Ucayali), l'observateur effectue chaque mois un échantillonnage destiné à la caractérisation géochimique de l'eau, suivi d'une opération de filtration.

Ces campagnes serviront également à calibrer, pour chaque saison, les courbes de coûts [niveau d'eau] - [débit] pour la surveillance des débits, ainsi que les rapports [taux de concentration] - [concentration moyenne dans la section] pour la surveillance des MES. Les mesures de débit doivent être effectuées à l'aide de corrélateurs à effet Doppler (ADCP). Les sections des cours d'eau dans les stations de mesure sont échantillonnées conformément à des protocoles spécifiques aux grands fleuves tropicaux afin de déterminer la concentration moyenne en MES. De manière ponctuelle, des échantillonnages supplémentaires pour la caractérisation des propriétés des MES (par exemple, minéralogie, granulométrie) peuvent être réalisés. La conception des courbes d'étalonnage, le traitement et l'analyse et la cohérence des données hydrologiques collectées, ainsi que les séries historiques du SENAMHI, seront traités avec les logiciels Hydracess et Hydromesad développés dans le cadre du SO HyBAM; mais de nouveaux logiciels mis en œuvre sont également suggérés.

Les échantillons des MES seront traités au laboratoire SENAMHI d'Iquitos ou de l'UNALM (Lima). Des analyses géochimiques pour la détermination des éléments majeurs et des traces, des isotopes, des matières organiques et des terres rares seront effectuées en France au laboratoire GET (Géosciences Environnement Toulouse). Les données des stations de Borja (Marañon) et Lagarto (Ucayali) seront



Firmado digitalmente por ARTEAGA
ARCE Daniel Alberto FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 19:02:54 -05:00



Firmado digitalmente por FELIPE
OBANDO Oscar Gustavo FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 08:56:38 -05:00



Firmado digitalmente por
GONZALES QUISPE Luz Marina
FAU 20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 26.07.2021 21:33:23 -05:00

mises librement à disposition sur le site web du HyBAM pour la communauté et identifiées comme un produit de la collaboration entre le SENAMHI et l'IRD dans le cadre du SO HyBAM.

Des solutions techniques et financières pour développer les logiciels Hydracess et Hydromesad ou autres dans une version open source seront coordonnées conjointement entre les parties.

Échéancier prévisionnel

La planification de cette activité sera définie à la fin de l'année pour l'année suivante, en fonction des ressources financières et humaines disponibles de chaque partie et des contraintes techniques et scientifiques. Cette planification peut faire l'objet de modifications importantes, par exemple en cas d'événements hydrologiques extrêmes.

Activité 2 : Tester et mettre en œuvre de nouvelles technologies hydrométriques, définir de nouveaux protocoles, mettre en œuvre une approche intégrée de la surveillance hydro-sédimentaire

Afin d'améliorer la qualité des mesures, d'augmenter la quantité d'informations et d'augmenter le réseau de stations, de nouvelles technologies hydrométriques seront testées, éventuellement adaptées au contexte et mises en œuvre. De même, de nouveaux protocoles puissants, optimisés, adaptés et efficaces seront développés ensemble.

Méthodologie :

- Actuellement, deux équipes LISST (ABS et SL2), achetées par l'IRD, seront déployées sur les rivières amazoniennes pour réaliser des mesures de profils verticaux de concentrations en MES, de vitesse et de granulométrie.
- De même, un radar SVR pour la mesure des vitesses de surface peut être utilisé dans les petits affluents des fleuves étudiés, avec la définition de protocoles adaptés.
- Un prototype couplant des radiomètres à faible coût pour surveiller la couleur de l'eau à la surface des rivières et le relier à la concentration en MES peut être installé dans une ou plusieurs stations du réseau. Cette technologie est en cours de développement dans le cadre du SO HyBAM et pourra être mise en œuvre après validation.
- De nouveaux protocoles de surveillance *in situ* de MES, en particulier des sables en suspension, seront définis pour améliorer les bilans sédimentaires des fleuves amazoniens.
- Les matériaux de mesure de MES seront renouvelés en fonction des ressources financières de chaque institution, en particulier les échantillonneurs et les winchos.
- La banque de données HyBAM de mesure aDcp sera analysée pour étudier la relation entre les vitesses apparentes du lit mesurées par cet instrument et le transport de fond.
- Des campagnes de mesure, en déployant plusieurs instruments, seront planifiées dans le cadre de cet accord en fonction des ressources financières et humaines disponibles de chaque partie.

Durant la période de validité de cette convention, d'autres équipements et protocoles peuvent également être testés, conformément à la surveillance technologique qui sera assurée par les deux parties et des possibilités de financement.

sultats attendus

- Identifier et mettre en œuvre de nouvelles technologies pour la mesure du flux hydro-sédimentaires
- Définir de nouveaux protocoles adaptés
- Améliorer la qualité des mesures et la connaissance des flux dans les grands fleuves de l'Amazonie



Firmado digitalmente por ARTEAGA
ARCE Daniel Alberto FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 19:03:39 -05:00



Firmado digitalmente por FELIPE
OBANDO Óscar Gustavo FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 08:57:27 -05:00



Firmado digitalmente por
GONZALES QUISPE Luz Marina
FAU 20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 26.07.2021 21:33:59 -05:00

Activité 3 : Mettre en œuvre une approche intégrée de la surveillance hydro-sédimentaire

Une approche intégrée de la surveillance des flux hydro-sédimentaires sera progressivement mise en œuvre. En effet, les outils de télédétection et de modélisation hydrologique complètent désormais efficacement les données hydrologiques acquises *in situ*. Ils permettent d'étendre la série de mesures et d'améliorer la surveillance des dynamiques spatio-temporelles de la qualité de l'eau (sédiments, contaminants, etc.). Par conséquent, elles sont une alternative pour les services hydrologiques dans les régions à faible densité de stations hydrologiques, comme l'Amazonie péruvienne.

Méthodologie : une approche intégrée pour la surveillance des flux hydro-sédimentaires

Des campagnes seront consacrées à l'étalonnage/validation des produits satellitaires et des modèles hydrologiques, dans le but de développer cette approche intégrée pour la surveillance des flux hydro-sédimentaires dans la région andine-amazonienne.

Les données d'altimétrie des missions spatiales (JASON, ENVISAT, ALTIKA) seront traitées à l'aide du logiciel VALS, développé par l'équipe SO HyBAm, pour compléter les mesures *in situ*. Une surveillance par satellite des concentrations en MES se fera par le traitement d'images spatiales (MODIS, VIIRS, SENTINEL 2&3). Enfin, le modèle hydrologique SWAT+ sera testé et éventuellement modifié pour être appliqué aux grands bassins de la région andine-amazonienne péruvienne du fleuve Amazone : Ucayali, Marañon, Amazonas et Madre de Dios. Le produit de précipitations développé par le SENAMHI (PISCO) sera utilisé comme variable d'entrée dans le modèle hydrologique.

Résultats attendus

- Adapter l'hydrologie spatiale et les techniques de modélisation hydrologique au contexte amazonien du Pérou pour développer une approche intégrée de la surveillance hydro-sédimentaire des grands fleuves du bassin amazonien.
- Générer des chroniques hydro-sédimentaires étendues et constituées de stations virtuelles (surveillées par des mesures satellite et/ou des modèles hydrologiques).
- Concevoir de nouveaux protocoles de mesure des sédiments pour améliorer l'estimation des flux de matières et assurer la complémentarité avec les outils d'hydrologie spatiale (altimétrie, couleur de l'eau) ou avec la modélisation hydrologique utilisée (SWAT).

Activité 4 : Formations et transferts technologiques

Pour garantir la production de données hydrologiques de qualité dans le cadre des activités du SO HyBAm au Pérou, des formations techniques seront organisées. Premièrement, ces formations porteront sur la mesure *in situ* des flux hydro-sédimentaires, selon les protocoles du SO HyBAm, mais aussi sur la genèse d'une base de données avec les logiciels développés par le SO HyBAm, ainsi que l'analyse de la consistance des séries hydrologiques produites. Une attention particulière est accordée aux techniques d'étalonnage pour les rapports de niveau d'eau-débit. Les formations porteront également sur l'introduction de techniques de mesure innovantes (par exemple, mesures sédimentaires indirectes au moyen d'instruments acoustiques ou au laser), l'utilisation de l'altimétrie spatiale ou de modèles hydrologiques.

Résultats attendus

- Une autonomie du personnel du SENAMHI pour la réalisation de mesures hydro-sédimentaires, la production de données et l'analyse de leur consistance.
- Le transfert d'expérience en modélisation hydrologique et hydrologie spatiale pour établir un suivi intégré des flux hydro-sédimentaires dans les bassins surveillés.
- La production de données hydrologiques cohérentes.

Méthodologie

Les formations et transferts techniques peuvent prendre la forme d'ateliers ou d'écoles d'été. Des spécialistes internationaux des sujets traités peuvent être invités. Elles peuvent aussi être diffusées, ad



Firmado digitalmente por ARTEAGA
ARCE Daniel Alberto FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 19:04:20 -05:00



Firmado digitalmente por FELIPE
OBANDO Óscar Gustavo FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 08:57:58 -05:00



Firmado digitalmente por
GONZALES QUISPE Luz Marina
FAU 20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 26.07.2021 21:34:50 -05:00

hoc ou continues, à travers l'affectation du personnel de l'IRD, en collaboration avec le personnel technique de SENAMHI dans les activités de terrain et de génération de données hydro-sédimentologiques. Enfin, les données recueillies dans le cadre du SO HyBAm pourront être utilisées pour la réalisation de MASTER ou de doctorat pour le personnel de SENAMHI qui souhaite participer à ces formations avec l'accord de la direction de SENAMHI.

Échéancier prévisionnel

Le calendrier des activités de formation sera défini régulièrement en fonction des besoins du SENAMHI et des innovations techniques et scientifiques du SO HyBAm, ou dans le domaine de l'hydrométrie à l'échelle mondiale.

Activité 5 : Recherches en hydro-climatologie et érosion

Pour assurer la production scientifique dans le cadre du présent avenant, les parties s'engagent à travailler ensemble pour générer des connaissances dans le bassin Andin-amazonien dans le cadre des lignes de recherche du SENAMHI et de l'IRD en mettant l'accent sur la compréhension des processus hydroclimatologiques et d'érosion et en considérant les changements globaux surtout climatiques et d'affectation des sols. À cet effet, les deux parties, dans la mesure de leurs possibilités, contribueront avec des praticiens, des thésards et des professionnels des deux institutions qui souhaitent effectuer des travaux de recherche soit au Pérou, soit en France. Les deux parties participeront également à des appels à projets de recherche nationaux et internationaux dans le cadre de cette activité.

Résultats attendus

- Au moins 1 publication scientifique par an dans des revues scientifiques, y compris coauteur des deux parties.
- Au moins 1 stagiaire par an réalise sa thèse de pré-diplôme
- Au moins 1 thèse de doctorat ou Maestria ensemble tous les 2 ans
- Au moins un projet de recherche soumis ensemble tous les 2 ans

Méthodologie

Sur la base de l'expérience acquise par les chercheurs du SENAMHI et de l'IRD, des travaux seront menés conjointement en vue de résoudre des problèmes d'intérêt mutuel. À cet égard, la méthodologie à suivre pour mener à bien cette activité sera fondée sur la recherche appliquée présentant un intérêt pour les deux parties. Il est prévu d'utiliser les données générées par les autres activités pour générer des connaissances scientifiques inédites et mieux comprendre les processus hydroclimatiques et d'érosion; et considérant les changements globaux surtout climatiques et d'affectation des sols dans le bassin andin-amazonien péruvien.

Échéancier prévisionnel

Le calendrier des orientations à suivre pour cette activité sera coordonné par les représentants scientifiques des deux institutions, généralement annuellement et de manière non programmée, lorsque des possibilités de projets de recherche ou d'autres financements se présenteront.

Engagements de l'IRD et du SENAMHI

- Le traitement, la consolidation des données hydrologiques et la phase d'interprétation seront effectués conjointement par les deux parties, au Pérou et en France.
- Les données acquises seront partagées par les deux institutions et pourront être mises à la disposition de la communauté scientifique internationale avec l'accord préalable des deux parties, notamment via le portail web du SO HyBAm.
- Les résultats obtenus dans le cadre de la présente convention sont co-publiés dans des rapports techniques, des revues scientifiques internationales ou locales.



Firmado digitalmente por ARTEAGA
ARCE Daniel Alberto FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 19:05:27 -05:00



Firmado digitalmente por FELIPE
OBANDO Oscar Gustavo FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 08:58:25 -05:00



Firmado digitalmente por
GONZALES QUISPE Luz Marina
FAU 20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 26.07.2021 21:35:31 -05:00

- Les publications résultant des travaux menés dans le cadre de la présente convention seront réalisées conjointement et identifieront les institutions responsables de la surveillance et de l'analyse des données.
- Les deux parties rechercheront des financements supplémentaires pour améliorer les conditions de réalisation des projets définis et pour assurer la continuité des travaux scientifiques.

Personnel impliqué

Institution	Personnel	fonction	Thématique	Activité	Participation /plein temps
IRD	MARTINEZ Jean Michel	Directeur de recherche	Coordination scientifique et institutionnelle Hydrologie spatiale	2, 3, 4	10%
IRD	SANTINI William	Ingénieur hydrologue	Hydro-sédimentologie Modélisation hydrologique Coordination technique	1, 2, 3, 4	33%
IRD	FRAIZY Pascal	Ingénieur hydrologue	Banque de données Missions de terrain	1	100%
IRD	LAGANE Christelle	Ingénieure en géochimie	Analyses géochimiques	1	10%
IRD	PRUNIER Jonathan	Ingénieur en géochimie	Analyses géochimiques	1	5%
SENAMHI	LAVADO Waldo	Sous-directeur d'Etudes et de Recherches Hydrologiques	Coordination institutionnelle Hydro-climatologique	1, 2, 3, 4, 5	10%
SENAMHI	PAREDES Marco	Directeur du secteur hydrologie	Coordination institutionnelle et technique	1, 3, 4	10%
SENAMHI	Cristian Montesinos	Ingénieur hydrologue	Modélisation hydrologique	1, 4, 5	10%
SENAMHI	Evelin Sabino	Ingénieure hydrologue	Sédiments en Amazonie	3, 4, 5	10%



Firmado digitalmente por ARTEAGA
ARCE Daniel Alberto FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 19:06:11 -05:00



Firmado digitalmente por FELIPE
OBANDO Oscar Gustavo FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 08:58:59 -05:00



Firmado digitalmente por
GONZALES QUISPE Luz Marina
FAU 20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 26.07.2021 21:36:01 -05:00

SENAMHI	Henry Asencios	Ingénieur hydrologue	Modélisation hydraulique	1,2,3,4,5	10%
SENAMHI	Nilton Fuertes	Ingénieur hydrologue	Mission de terrain	1,2,4	10%
SENAMHI	Jhonatan Paredes	Ingénieur hydrologue	Mission de terrain et de laboratoire	1,2,3,4	10%

Liste des équipements et moyens techniques

Principaux équipements :

- 1 ADCP RDI, modèle Rio Grande, 600 KHz + 2 antennes GPS garmin 5 Hz
- 1 LISST ABS et 1 LISST SL2
- 1 radar SVR marque DECATUR
- 1 ordinateur portable de terrain
- 2 échantillonneurs pour sédiments de type Van Dorn de 2L
- 1 wincho électrique Cannon
- 1 niveau optique
- 3 rampes de filtration pour laboratoire (1 à Iquitos, 2 à Lima)
- 2 pompes à vide (1 à Iquitos, 1 à Lima)
- 2 balances de précision
- 2 PH mètres
- 2 conductimètres
- Petit matériel de laboratoire ou destiné aux observateurs pour la collecte de données sédimentaires et géochimiques.

Moyens techniques :

Engagements de l'IRD

L'IRD s'engage à :

- Mettre à disposition et envoyer en mission, selon ses possibilités, le personnel scientifique nécessaire à l'exécution optimale des activités de cette convention.
- Fournir le logiciel et les codes requis par le projet (Hydracess, Hydromesad et VALS).
- Fournir, dans la mesure du possible, un véhicule pour les activités de terrain.



Firmado digitalmente por ARTEAGA
ARCE Daniel Alberto FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 19:06:48 -05:00



Firmado digitalmente por FELIPE
OBANDO Oscar Gustavo FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 08:59:29 -05:00

Engagements du SENAMHI

Le SENAMHI s'engage à :

- Collaborer dans la mesure de leurs moyens avec l'appui logistique pour la réalisation des campagnes de mesure hydrologique prévues dans le cadre de la présente convention.
- Mettre à disposition, à temps partiel et en fonction de ses possibilités, les infrastructures et le personnel nécessaires à la réalisation optimale des activités du présent accord, tels que:
 - o un technicien pour la création d'une base de données et l'analyse de la cohérence des données.
 - o deux techniciens pour la réalisation d'activités de terrain.
 - o un technicien pour les analyses de laboratoire.
- Coordonner avec les observateurs dans les stations de votre réseau hydrologique exploité par le SO HyBAm.



Firmado digitalmente por
GONZALES QUISPE Luz Marina
FAU 20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 26.07.2021 21:36:29 -05:00

- Soutenir, dans la mesure du possible, un véhicule ou un bateau motorisé pour réaliser les activités de terrain.
- Fournir, dans la mesure du possible, un espace de travail pour le personnel de l'IRD disponible ou en mission.
- Fournir, dans la mesure du possible, un espace de travail pour réaliser les activités de laboratoire nécessaires (filtration MES à Iquitos).
- Partager avec le projet les données de pluie et de niveau d'eau quotidiennes des stations étudiées, avec l'autorisation préalable de la direction.



Firmado digitalmente por
GONZALES QUIJSPE Luz Marina
FAU 20131366028 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 26.07.2021 21:36:59 -05:00



Firmado digitalmente por FELIPE
OBANDO Oscar Gustavo FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 08:50:38 -05:00



Firmado digitalmente por ARTEAGA
ARCE Daniel Alberto FAU
20131366028 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.07.2021 19:07:15 -05:00