

Informe:

Producto 2 – Informe conteniendo Modelo Digital de Terreno (MDT) de áreas de potencial inundación regional costera del Río Uruguay, de acuerdo a lo solicitado en el Ítem IV, Inciso A.

Autoría: Dr. Ricardo Castro-Díaz

Septiembre de 2023

Este documento ha sido elaborado en el marco de la implementación del proyecto regional (Argentina-Uruguay) Adaptación al cambio climático en ciudades y ecosistemas costeros vulnerables del río Uruguay. Se ha recibido una donación del Fondo de Adaptación para su realización y se implementa a través de CAF (Banco de Desarrollo de América Latina). Los componentes regionales del proyecto son ejecutados por PNUD y los componentes nacionales son ejecutados, respectivamente, por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Argentina y por la Corporación Nacional para el Desarrollo de Uruguay.

El análisis, las observaciones, las recomendaciones de políticas que contiene este documento corresponden exclusivamente a quienes lo han preparado y no reflejan necesariamente las opiniones de las entidades implementadoras y ejecutoras del Proyecto.

Resumen

El documento analiza las áreas potencialmente inundables en la costa entrerriana del Río Uruguay. Presenta un contexto sobre la relevancia de las inundaciones como el principal desastre en la provincia según registros históricos. Describe la metodología para estimar las áreas inundables usando modelos de Tellman et al. (2021) y Pekel et al. (2021) y cotas máximas departamentales identificadas en literatura. Compara las predicciones de área inundable de los modelos para los departamentos de Concordia, Colón, Uruguay y Gualaguaychú. Analiza las áreas inundables por localidad y a nivel regional usando diferentes cotas. Concluye que Gualaguaychú y Uruguay son los departamentos con mayor extensión de área inundable, mientras que Colón presenta la menor. Resalta la alta sensibilidad del área inundable a la cota utilizada.

Palabras clave: Inundaciones, Riesgo, Entre Ríos, Áreas Inundables, Cambio climático.

Highlights

- Las inundaciones son el principal desastre en Entre Ríos según registros históricos, con el mayor porcentaje de pérdidas humanas, eventos, afectados y viviendas dañadas.
- Se utilizaron modelos de Tellman et al. (2021) y Pekel et al. (2021) para estimar áreas potencialmente inundables, junto con cotas máximas departamentales.
- El modelo de Pekel predice las mayores áreas inundables en los 4 departamentos, con diferencias significativas respecto al modelo de Tellman.
- Concordia, Colón y Gualaguaychú son las ciudades con mayor área inundable por debajo de la cota departamental.
- Gualaguaychú y Uruguay dominan en términos de extensión de área total inundable, mientras que Colón presenta la menor. El área es muy sensible a la cota utilizada.

Anexos comunes:

- Doce (12) Mapas de Áreas Potencialmente Inundables a partir de modelos y por cotas de inundación a nivel regional y por localidades.
- Shape de Modelos Combinados (Castro-Díaz R. y Gatti I. 2023) “ModelosCombinados.shp” a partir de información IGN (2023) y modelos Tellman et al. (2021) y Pekel et al. (2016).
- Shapes de cotas 18 m regional, y para localidades en 7 m, 9 m, 12 m y 18 m según departamento de correspondencia.

El contexto del riesgo a inundación en la Provincia de Entre Ríos (Argentina)

La cuestión del riesgo en América Latina se ve fuertemente influenciada por la interrelación de cuatro dimensiones conocidas como peligrosidad, exposición, vulnerabilidad social e incertidumbre. Estas dinámicas corresponden a la condición amenazante, la localización de los bienes y grupos humanos, las características socioeconómicas de las familias y el rol Estado-Gobierno Local.

En este segundo producto del Proyecto “Definición de áreas potencialmente inundables, a partir de modelos digitales de elevación y su dinámica ante escenarios futuros de cambio climático y, la actualización de los Índices de Vulnerabilidad Social ante Desastres (IVSD) en ciudades costeras del Río Uruguay de la Provincia de Entre Ríos”, se analizan los espacios y territorios humanos en función al área que puede verse afectada por inundaciones como eje central de la situación desastrosa. A través de este enfoque se logra establecer las áreas prioritarias de monitoreo, seguimiento y atención en relación con la promoción de políticas públicas de orden nacional, provincial y local para la gestión de alertas tempranas institucionales o comunitarias.

La relación entre áreas predisuestas al desastre no son un simple resultado de su localización. Esta información permite conocer aquellas áreas que están en situación de peligro por una amenaza específica. Para la costa entrerriana del Río Uruguay, dicha situación está principalmente, pero no únicamente, relacionada con dinámicas de inundación que representan graves afectaciones a las localidades ribereñas.

La información correspondiente de los últimos cincuenta años del inventario para la Provincia de Entre Ríos a partir del Marco de Trabajo Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDDR, 2023), indica como primer evento en todos los casos de desastre por porcentaje de pérdidas humanas (36%), número de eventos registrados (56%), afectados o damnificados (82%) y, viviendas destruidas o afectadas (84%). Ubicando este tipo de situaciones desastrosas por encima de eventos pandémicos, tormenta y sequía en número y porcentaje de pérdidas o afectaciones a vidas humanas y elementos materiales.

En los eventos registrados en DESINVENTAR (UNDDR, 2023) para los departamentos de Concordia, Colón, Gualguaychú y Uruguay se presentan 79 reportes registrados desde el año 1972 hasta 2015. El último evento desastroso mencionado en DESINVENTAR (UNDDR, 2023) se refiere a inundaciones ocurridas en las localidades de Colón, Concepción del Uruguay, San Antonio de Padua de la Concordia con cerca de 10.000 evacuados, 1 muerto e innumerables pérdidas materiales en producción agropecuaria, vivienda e infraestructura, lo que requirió la Declaración de Emergencia Hídrica, Sanitaria y Vial por el Decreto No. 338 del

21 de diciembre de 2015 (150 días) y prorrogado por Decreto No. 1476 del 22 de mayo de 2016.

Castro-Díaz et al. (2023) realizaron un inventario de cuantificación de eventos extremos relacionados con precipitaciones severas en tiempo y frecuencia combinando su análisis con la aplicación del Índice de Vulnerabilidad frente a Desastres y la búsqueda de información hemerográfica que reflejara las situaciones catastróficas en la Provincia de Entre Ríos entre los años 2000 a 2020. Los eventos derivados de lluvias severas fueron clasificados según tipología de Lluvias y Anegamientos, Tormentas, Desborde de Cauces y Arroyos Menores, Crecida y Desborde de Ríos Provinciales y, Crecida y Desborde de Grande Ríos Regionales. Dichos datos fueron recolectados para generar un análisis hemerográfico por tipo de información a la que se hacía mención en las notas periodísticas (Figura 1)

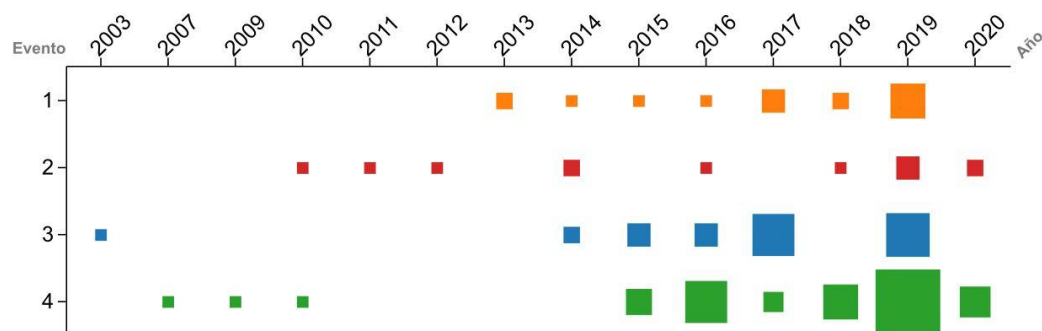


Figura 1. Relación de notas periodísticas por año (2000-2020) y tipo de evento (1 – Gestión en naranja; 2 – Tormenta en rojo; 3 – Desborde en azul; y, 4 – Lluvias y anegamiento en verde).

Fuente: extraído de Castro-Díaz et al. (2023)

En la Figura 2 se muestra la relación entre información hemerográfica del periodo 2000 a 2020 por tipo de evento, encontrándose en primera posición las lluvias y anegamiento, seguido por desborde, tormenta y notas sobre gestión de inundaciones. Los años con mayor número de notas relacionadas son 2019, 2017, 2016 y 2015 (Castro-Díaz et al. 2023).

En la Figura 2 se presenta el porcentaje de eventos catastróficos mencionados en información hemerográfica (2000-2020). Se puede observar que la mayor proporción de eventos relacionados con la precipitación severa en los cuatro departamentos objeto de estudio, corresponden a inundaciones por Desborde de Grande Ríos Regionales (GRR), Lluvias y Anegamientos (LLyA) y Desborde de Cauces y Arroyos Menores (AyCM), respectivamente.

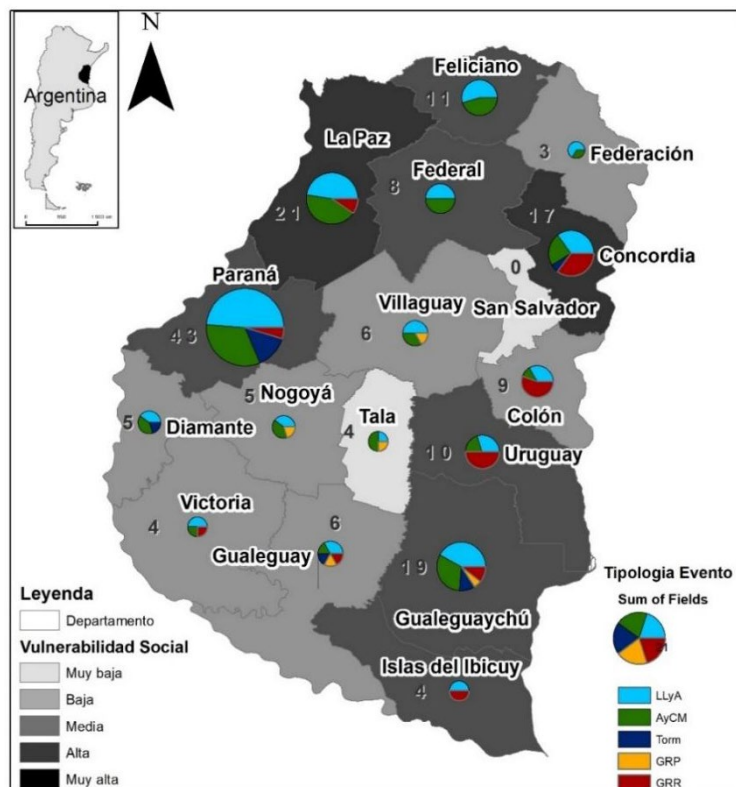


Figura 2. Frecuencia y tipo de casos referidos episodios de riesgo o presencia de amenazas de origen hidrometeorológico según fuentes hemerográficas (enero 2000-abril 2020) por valor IVSD Sintético por departamento para la provincia de Entre Ríos. Fuente: extraído de Castro-Díaz et al. (2023)

Celis (2006) también había advertido la situación catastrófica en su estudio de periodo 1970 a 2004, demostrando la relevancia de las inundaciones a lo largo del litoral argentino. Advierte que el detonante con mayor frecuencia de las inundaciones son los desbordes de grandes ríos, siendo aumentados en años con periodos de El Niño.

En este sentido, las áreas que se encuentran fuertemente amenazadas en relación con las inundaciones son aquellas localizadas en áreas de desborde, es decir, localidades ubicadas por debajo de la cota máxima de inundación. Siendo relevante la causación de la proximidad y el alcance en altura de dichos eventos.

La dimensión de la exposición

Siendo determinante la situación catastrófica de las inundaciones por desborde de grandes ríos en la Provincia de Entre Ríos, este informe se dedica a la estimación de las áreas que se encuentran dentro de cierta proximidad del Río Uruguay combinada con las alturas máximas o cotas máximas de inundación.

Para ello, primero se debe entender que este primer informe corresponde a una de las cuatro dimensiones del riesgo que se ha propuesto desde la base teórica sobre riesgo de desastres (Natenzon y Ríos, 2015). Esta apuesta por entender que el riesgo desde una perspectiva social, no conduce a la exclusiva coherencia de las estructuras sociales inmateriales, sino también de las diversas manifestaciones territoriales que se materializan a lo largo de la región occidental litoral de Entre Ríos. Esto implica que, a partir del uso de herramientas espaciales, sea posible visualizar y estipular las condiciones determinantes de la dinámica de la inundación con efectos en los desbordes de los grandes ríos. En este caso, la concentración en analizar las áreas próximas al Río Uruguay depende de ciertas características que se pasan a definir.

Las características definidas en este análisis para áreas potenciales de inundación en Entre Ríos son:

1. Áreas de los Departamentos contiguos al Río Uruguay en la costa entrerriana.
2. Localidades que se encuentren dentro de las áreas definidas en el punto 1.
3. Áreas de los Departamentos que se encuentren por debajo de la cota máxima de inundación histórica o modelada.
4. Localidades que se encuentren dentro de las áreas definidas en el punto 3.

Definición de cotas de inundación

En primer lugar, se realizó una revisión de la documentación brindada por el ente interventor donde diferentes fuentes señalan valores estimados de cotas de inundación o sus relacionadas. Se presenta la cota máxima de inundación previo desborde en el Reservorio de la Defensa Sur de Concordia (ER) definida en 12 m (PITON, 2016). También se menciona la cota máxima de inundación previo alerta roja de desastre de 16,5 m en el puerto local de la Ciudad de Concordia y cota de coronamiento de 18 m IGN (s.i.) como punto altimétrico de referencia.

Para la ciudad de Gualaguaychú se determina la llanura de inundación de 3,8 metros en la escala del puerto encontrándose una máxima de 6,8 m (Grupo GECRU, 2019)¹ para el emprendimiento Amarras en Pueblo General Belgrano². Carñel et al. (2016) hacen referencia a la cota 8,5 de inundación según el mínimo donde se puede realizar edificaciones en la ciudad de Concepción del Uruguay. Serman (2023) señala un histórico de inundación para octubre de 2015, aunque no máximo histórico, para una cota de 10,5.

¹ Grupo de Estudio de la Contaminación del Río Uruguay (GECRU) de la Facultad Regional de Concepción del Uruguay de la Universidad Tecnológica Nacional.

² Nota de advertencia: el tejido urbano de Pueblo General Belgrano es cartográficamente continuo a la ciudad de Gualaguaychú y no presentan límite poligonal en la información oficial disponible.

En segundo lugar, se realizó la modelación de las áreas de inundación usando los datos aportados por el Global Flood Database (Tellman et al., 2021), que utiliza valores diarios de la misión MODIS a 250 m de resolución resultado de la banda 1 (621-670 nm) y 2 (841-875 nm), y SWIR (1628-1652 nm) desde el año 2000 hasta 2020. Estos datos son relacionados en cinco bandas: área inundada, duración, cielo despejado y porcentaje de éste, y cuerpos de agua permanente. Estos fueron posibles de ser obtenidos sólo para tres de los cuatro departamentos donde fue exceptuado del modelamiento de Tellman et al. (2021), el Departamento de Gualeguaychú.

Para la función matemática de hallar el área de inundación según Tellman et al. (2021) para la zona de estudio para tres de los cuatro Departamentos (*Ecuación 1*):

$$A_{inund} = B_{flooded} - B_{jrc_perm_water} \quad \text{Ecuación 1}$$

donde, A_{inund} corresponde al área estimada de inundación, $B_{flooded}$ es el área modelada de inundación y $B_{jrc_perm_water}$ es el área cubierta por agua de manera permanente.

En tercer lugar, se estimó el área de inundación a partir del Global Dataset Mosaic de imágenes Landsat, que calcula las áreas inundables a partir del modelo Global Surface Water (Pekel et al., 2016). Este método computa la Ocurrencia de Agua Superficial (SWO, por sus siglas en inglés) a partir de las detecciones de agua (WO) y observaciones válidas (VO) usando el cálculo de área promedio mensual de agua en largos periodos del año. Tiene en cuenta la intensidad de cambio de ocurrencia, estacionalidad, recurrencia, transiciones, extensión máxima de agua, recurrencia mensual, anualidad y registro de agua mensual.

Esta información se encuentra disponible para los cuatro departamentos focalizados en este estudio para el periodo 1984 a 2021. Para el presente informe se calculó el área de inundación usando el modelo Global Surface Water (Pekel et al., 2016) usando la *Ecuación 2*.

$$A_{inund} = A_{GDM} - A_{Agua\ Continental} \quad \text{Ecuación 2}$$

donde, el A_{inund} es el área de inundación, A_{GDM} corresponde al área inundada obtenida del Global Dataset Mosaic calculado por Pekel et al. (2021), y $A_{Agua\ Continental}$ es el área de aguas permanentes y continentales del IGN (2023).

Por último, el cálculo total de las áreas potencialmente inundables para Entre Ríos se generó a partir de la identificación de las cotas locales de las tres fuentes de información:

- Informes técnicos de organización como PITON, instituciones oficiales de geografía como el IGN, y autores tales como Grupo GECRU, Carñel et al, y Serman.

- Modelo Tellman et al. (2022).
- Modelo Pekel et al. (2021).

Estas nuevas Áreas Potencialmente Inundables (API) se conformaron del valor máximo de las cotas identificadas para cada departamento (Tabla 1)

Tabla 1. Cotas identificadas para cada Departamento para Áreas Potencialmente Inundables (API) a partir de información secundaria, Modelo Tellman y Modelo Pekel.

Departamento	Cotas máximas identificadas (m.s.n.m.)			
	Secundaria	Tellman	Pekel	API
Colón	10,5	10	12	12
Concordia	16,5	18	17	18
Uruguay	8,25	8	8	9
Guauguaychú	3,8 y 6,8	NA	3	7

Una vez definidas las cotas máximas se procedió a realizar el análisis de agua superficial para el evento de desastre de diciembre de 2015 que golpeó fuertemente las localidades de los cuatro departamentos (UNDDR, 2023)

Guauguaychú y General Belgrano se encuentran cartográficamente unidas y no presenta límite de localidad.

Resultados

Para Tellman et al. (2021), el área de inundación total para los departamentos según la *Ecuación 1* (Tabla 2) cubre un total de 319,038 ha, mientras *Ecuación 2* determina un total de 1.251 ha.

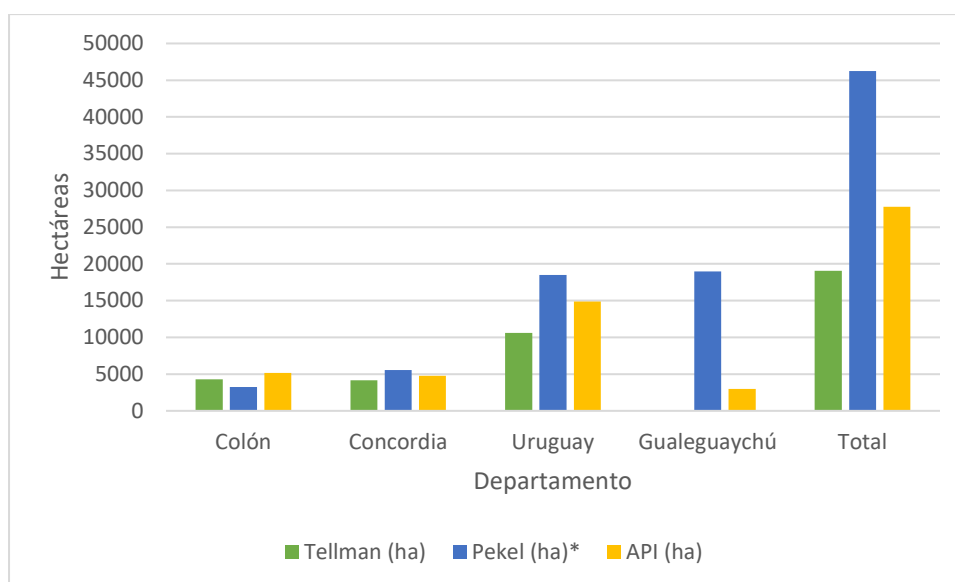


Figura 4. Área de inundación por Departamento usando los modelos Tellman et al. (2021), Pekel et al. (2021)*. * Nótese que el cálculo del Modelo Pekel incluye otras áreas no contiguas al Río Uruguay.

Según la Figura 4, el modelo de Tellman predice un área inundada menor para Colón (Mapa 1) y Concordia (Mapa 2) en comparación con el modelo de Pekel. Sin embargo, predice un área mayor para Uruguay (Mapa 3). Este modelo (Pekel) predice las mayores áreas de inundación para todos los departamentos tales como Concordia (Mapa 5), Uruguay (Mapa 7) y Gualeguaychú (Mapa 6), excepto para Colón donde predice un área menor (Mapa 4).

Las diferencias son bastante significativas, predice hasta casi el doble de área inundada para Gualeguaychú y Uruguay. No hay datos de Tellman para Gualeguaychú para poder comparar con el modelo Pekel. Se encontró que el área predicha por Pekel es mucho mayor que la sumatoria de los modelos (API), esto se debe a que el modelo Pekel, por sí solo, involucra áreas sobre toda la provincia, mientras que API es exclusivo para áreas próximas al Río Uruguay. En general se observa una discrepancia importante entre las predicciones de los diferentes modelos, lo que resalta las diversas variaciones en las estimaciones de áreas inundadas utilizando múltiples aproximaciones.

Tabla 2. Área de inundación por Localidad usando las cotas departamentales

Departamento	Localidad	Cota departamental	Área por debajo de cota (ha)
Concordia	a. Colonia Ayuí	18	0
	b. Concordia		931
	c. Las Tejas		0
	d. Villa Adela		0
	e. Benito Legerén		0
	f. Calabacillas		0
	g. Puerto Yeruá		20
	h. Nueva Escocia		2
	* Embarcadero Ferrari		8
Colón	i. Villa Elisa	12	0
	j. Liebig		1
	k. San José		0
	l. Colón		55
	m. Colonia Hughes		0
	* n. Parque Nacional El Palmar	18	968
Uruguay	ñ. Concepción del Uruguay	9	194
	* Puerto Campichuelo		8
Gualeguaychú	o. Gualeguaychú -	7	857
	p. Pueblo General Belgrano		
	* Puerto Boca		7
	* Arroyo Ñancay		11
	* La Peregrina		28

* Localidades y Parque Nacional El Palmar no incluidas en las obligaciones de la consultoría pero que fueron detectadas en área inundable por cota de inundación departamental para Localidades y cota regional (18m) para el PN El Palmar.

Según la Tabla 2, en el departamento de Concordia, la mayoría de las localidades no presentan áreas inundadas por debajo de la cota departamental, excepto Concordia con 931 ha, Puerto Yerúa con 20 ha y *Embarcadero Ferrari con 8 ha. Para Colón, sólo Colón y Liebig presentan áreas inundables menores a 55 ha y 1 ha respectivamente. El resto de las localidades no tienen áreas por debajo de la cota. En Uruguay, Concepción del Uruguay tiene un área importante inundable de 194 ha, mientras que *Puerto Campichuelo tiene 8 ha. Finalmente, en Gualaguaychú, la ciudad de Gualaguaychú presenta un área inundable muy significativa de 857 ha. Las otras localidades del mismo departamento como Pueblo General Belgrano, *Puerto Boca, *Arroyo Ñancay y *La Peregrina también presentan áreas inundables, aunque menores. Finalmente, el Parque Nacional de El Palmar (Colón) presenta un total de 968 ha en área inundable.

En general, se observa que hay pocas localidades con áreas inundables por debajo de la cota departamental. Las más afectadas son las ciudades principales como Concordia, Colón y Gualaguaychú y el PN El Palmar.

Tabla 3. Área inundable regional por total de localidades afectables y por cota regional

	Área inundable regional total localidades afectables (ha)*	Área inundable regional (ha)
Cota 18	6601	271202
Cota 12	2814	NA
Cota 9	1631	NA
Cota 7	966	NA

* No incluye API PN El Palmar.

Según la Tabla 3, utilizando la cota regional de 18m, el área total inundable considerando todas las localidades afectadas es de 6601 ha. Para el área inundable regional total, esto aumenta drásticamente a 271.202 ha (Mapa 8). Al disminuir la cota regional a 12m, 9m y 7m, el área inundable total de localidades afectadas se reduce a 2814 ha, 1631 ha y 966 ha respectivamente.

Se observa que el área inundable es muy sensible a la cota regional utilizada. Mientras más baja es la cota, menor es el área inundable de las localidades afectadas. El área regional total inundable es significativamente mayor que considerando solo localidades para la cota de 18m. Esto sugiere el mayor potencial de inundación de áreas departamentales por debajo de esta cota. Ejemplo de ello es que el PN El Palmar presenta áreas potencialmente inundables solamente cuando se analiza con la cota regional (18 m)

Tabla 4. Área inundable departamental total por cota máxima inundable de acuerdo con cada departamento

	Cota máxima inundable	Área inundable departamental total
Concordia	18	4410
Colón	12	3833
Uruguay	9	14636
Gualeguaychú	7	72243
Total		95122

Según la Tabla 4, en Concordia, con una cota máxima de 18m, el área total inundable es de 4410 ha (Mapa 9). En Colón, con una cota de 12m, el área total es de 3833 ha (Mapa 10) siendo del Parque Nacional El Palmar la porción correspondiente a 967 ha (Mapa 10a). En Uruguay, con una cota de 9m, el área total inundable es de 14.636 ha (Mapa 11). Finalmente, Gualeguaychú presenta la mayor área inundable total con 72.243 ha para una cota máxima de 7m (Mapa 12). Sumando los totales de los 4 departamentos, el área inundable regional es de 95.122 ha.

Se observa que Gualeguaychú, con una cota máxima menor, domina en términos de área total inundable. Le siguen Uruguay, Concordia y Colón. Las diferencias se explican por las distintas cotas máximas utilizadas en cada departamento, que reflejan las diferencias topográficas/geomorfológicas entre ellos. Los datos indican que en extensión, Gualeguaychú y Uruguay son los departamentos con mayor área inundable, mientras que Colón es el que presenta menor número de área inundable total, y el PN El Palmar posee áreas potencialmente inundables solo bajo cota regional de 18 m.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que con respecto a la influencia de la Defensas existentes en las ciudades y sus efectos sobre la reducción de inundaciones causadas por crecidas del Río Uruguay y al tratarse de modelos de inundación basados en determinantes biofísicas, no tenemos datos específicos sobre los efectos en la reducción de la dinámica de inundación. Esto se debe principalmente a que la medición se hace sobre Áreas Potencialmente Inundables lo que implica solo el estimado más próximo por condiciones topográficas y no considera las modificaciones antrópicas que puede aumentar o disminuir las causas de inundación.

Debido al tipo de metodología de sensores remotos, no tenemos datos que nos muestren dichas modificaciones *in situ*. Sin embargo, es considerable que el ejercicio que presentamos incluye áreas inundables también de ríos internos que quedan adentro de las defensas, lo que implica mayor cobertura de las posibles inundaciones.

Conclusiones

El análisis realizado logra establecer a las inundaciones como el principal desastre en la provincia de Entre Ríos según registros históricos, siendo consideradas como contribuyentes importantes al porcentaje de pérdidas humanas, eventos, afectados y viviendas dañadas en eventos extremos del territorio. A través del uso de modelos de elevación digital, se estimaron las áreas potencialmente inundables en los departamentos de Concordia, Colón, Uruguay y Gualguaychú, encontrándose una gran variabilidad en las predicciones de área inundable entre los modelos Tellman y Pekel, resaltando la sensibilidad de las estimaciones al uso de variables de manchas de inundación a través de imágenes satelitales Modis y Landsat.

Combinando las diversas informaciones de cotas a nivel regional y departamental provenientes de los modelos de manchas de inundación (Tellman y Pekel) y de información secundaria de diversos informes técnicos disponibles, se encontró que Concordia, Colón (incluyendo al Parque Nacional El Palmar) y Gualguaychú resultaron ser las ciudades con mayor área inundable por debajo de la cota departamental. En términos de extensión, Gualguaychú y Uruguay presentaron la mayor área total inundable, mientras que Colón mostró la menor. El área inundable demostró ser muy sensible a la cota utilizada, disminuyendo a medida que se reducía la cota. El análisis permitió identificar las zonas y localidades de mayor riesgo de inundación, siendo insumo para focalizar acciones de prevención y mitigación. Por último se recomienda incorporar otros factores condicionantes como infraestructura de protección para tener estimaciones más precisas del peligro de inundación que puedan generar variaciones con el Área Potencialmente Inundable (API).

Bibliografía

UNDDR “Marco de Trabajo Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres” (2023). DESINVENTAR. Perfil Argentina. 16 de mayo de 2023. Disponible en <https://www.desinventar.net/DesInventar/profiletab.jsp>

Carñel, G. E., Bonnin, R. S., & Savoy, F. (2016). Análisis sobre la percepción frente al riesgo por inundación en dos barrios de Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina. *Locale*, 1(1), 97-116.

Castro-Díaz R, Visintini M., Del Rey Rodríguez M., Bustamante M., Medrano M., Müller Heindenreich M. y Natenzon C. E. (2023). “Vulnerabilidad Social y Análisis Hemerográfico de los desastres hidrológicos en la Provincia de Entre Ríos, Argentina (2000-2020)”. Artículo en Revisión.

Celis, A. (2006). Desastres en la Región Litoral de Argentina: 1970-2004. *Pampa: Revista Interuniversitaria de Estudios Territoriales*, (2), 85-109.

Grupo GECRU (2019). Análisis de la crecida del Río Gualaguaychú del 20 de junio de 2019. Ministerio de Educación. Universidad Tecnológica Nacional. Regional Concepción del Uruguay. Julio.

IGN. Capas SIG. Base de datos de shapes y capas digitales. Disponible en <https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG> Agosto 2023.

Pekel, J. F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633), 418-422.

Piton (2016). “Verificación niveles máximos Reservoirio Sur Concordia”. PITON-BISA. Reporte o Informe de Consultoría. Noviembre.

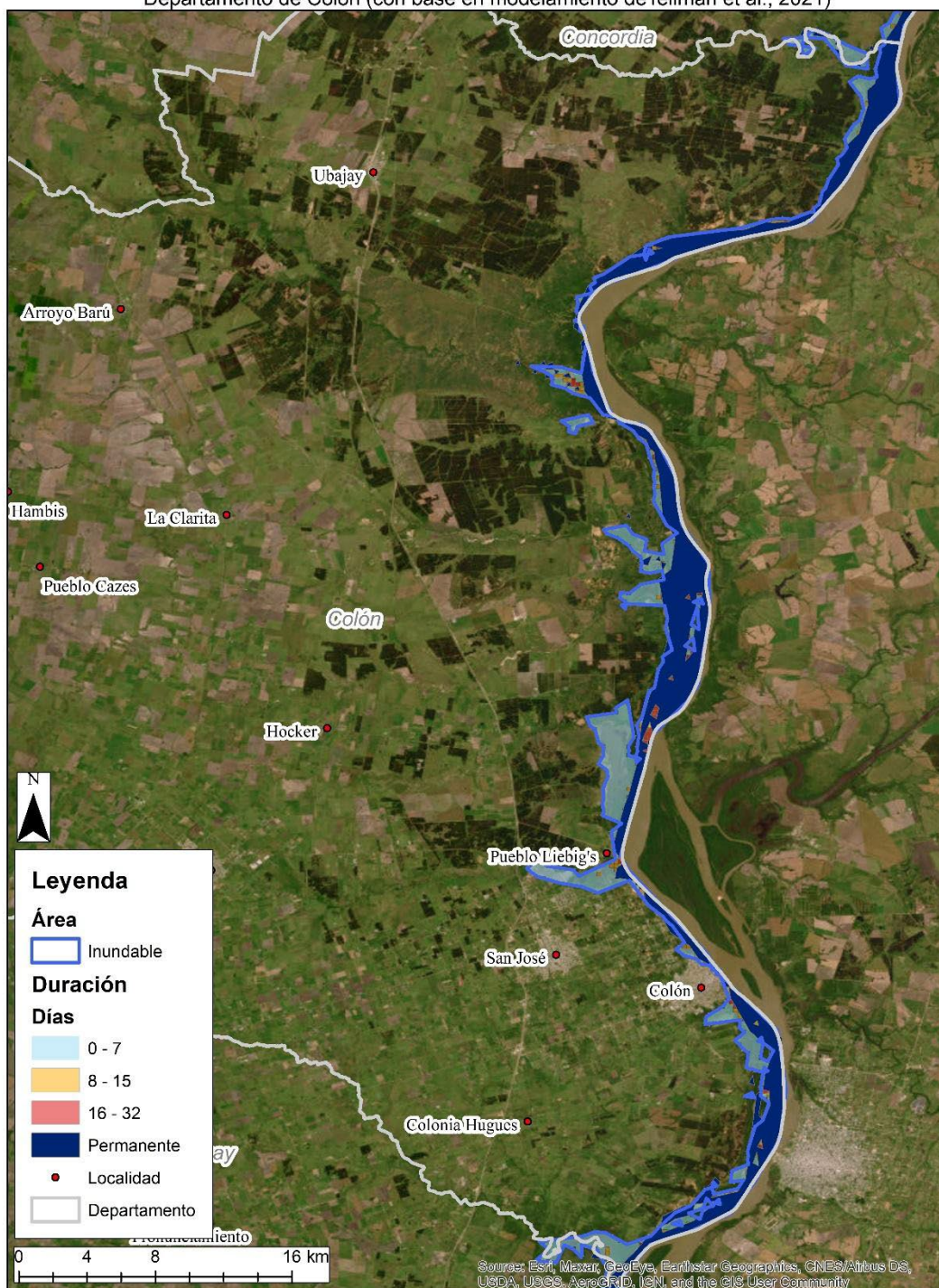
La Nasa, P. Convenio de Transferencia de Tecnología vinculado a la Investigación Científica y Tecnológica. PITON PRODYTEQ, Producto 2 (2017). Anexo 2. Defensa Sur de Concordia – Entre Ríos. Plan de Acción Durante Emergencias (PADE) 2017 – 2020.

Serman (2023) “Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales y Emisarios para las Ciudades de Concepción del Uruguay, Colón y San José”. Informe 4. Etapa 2 – Colón (Rev 1). Consultores SERMAS y Asociados. Unidad Ejecutora Provincial, Gobernación de Entre Ríos y Banco Interamericano de Desarrollo. Mayo.

Tellman, B., Sullivan, J. A., Kuhn, C., Kettner, A. J., Doyle, C. S., Brakenridge, G. R., ... & Slayback, D. A. (2021). Satellite imaging reveals increased proportion of population exposed to floods. *Nature*, 596(7870), 80-86.

MAPAS

Área de inundación, días de duración y permanentes en el
Departamento de Colón (con base en modelamiento de Tellman et al., 2021)

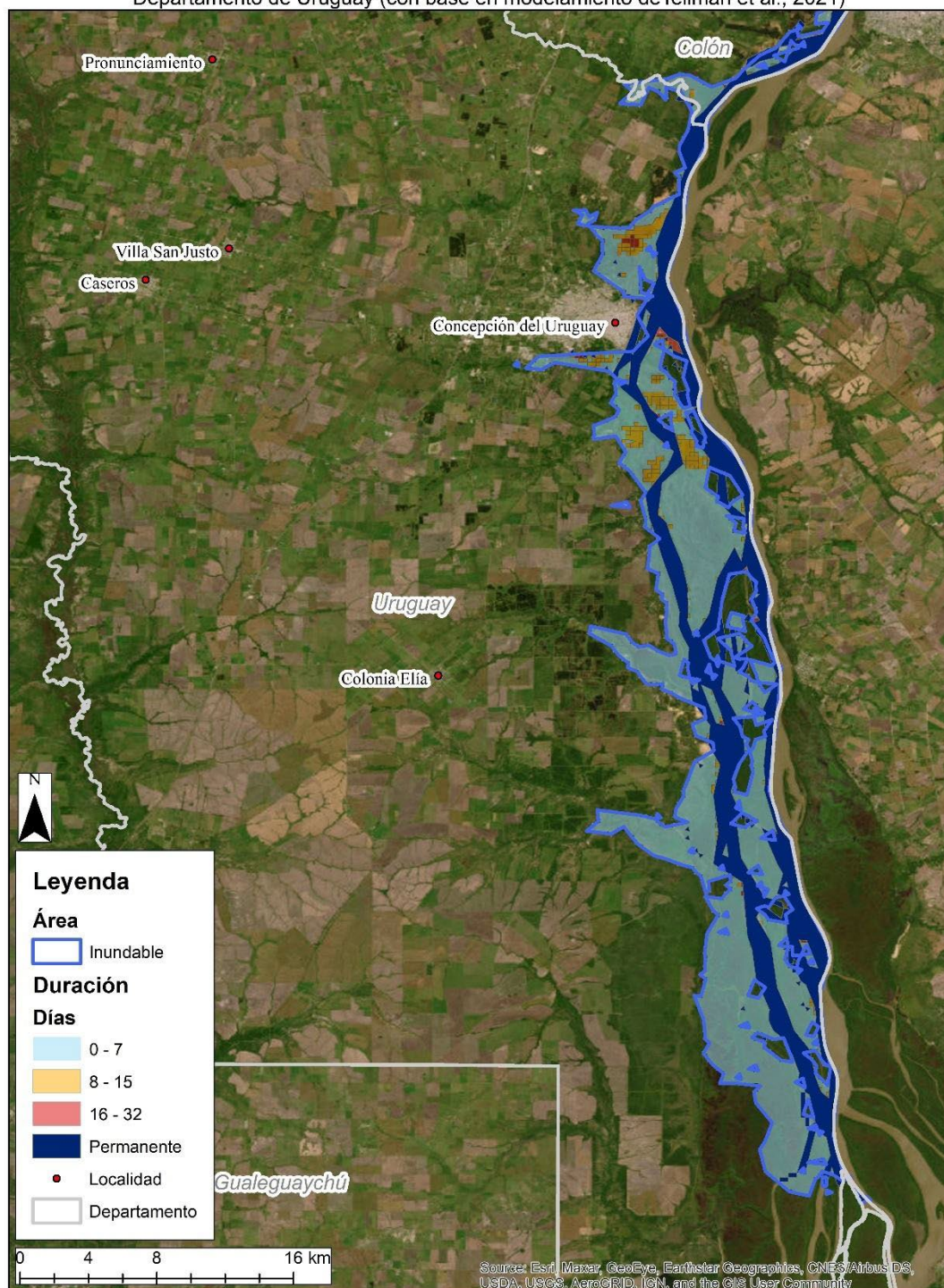


Mapa 1. Área de inundación, días de duración y áreas permanentes (ríos) en el Departamento de Colón con base en el modelo Tellman.



Mapa 2. Área de inundación, días de duración y áreas permanentes (ríos) en el Departamento de Concordia con base en el modelo Tellman. falta referencia (leyenda) s/el mapa

Área de inundación, días de duración y permanentes en el
Departamento de Uruguay (con base en modelamiento de Tellman et al., 2021)



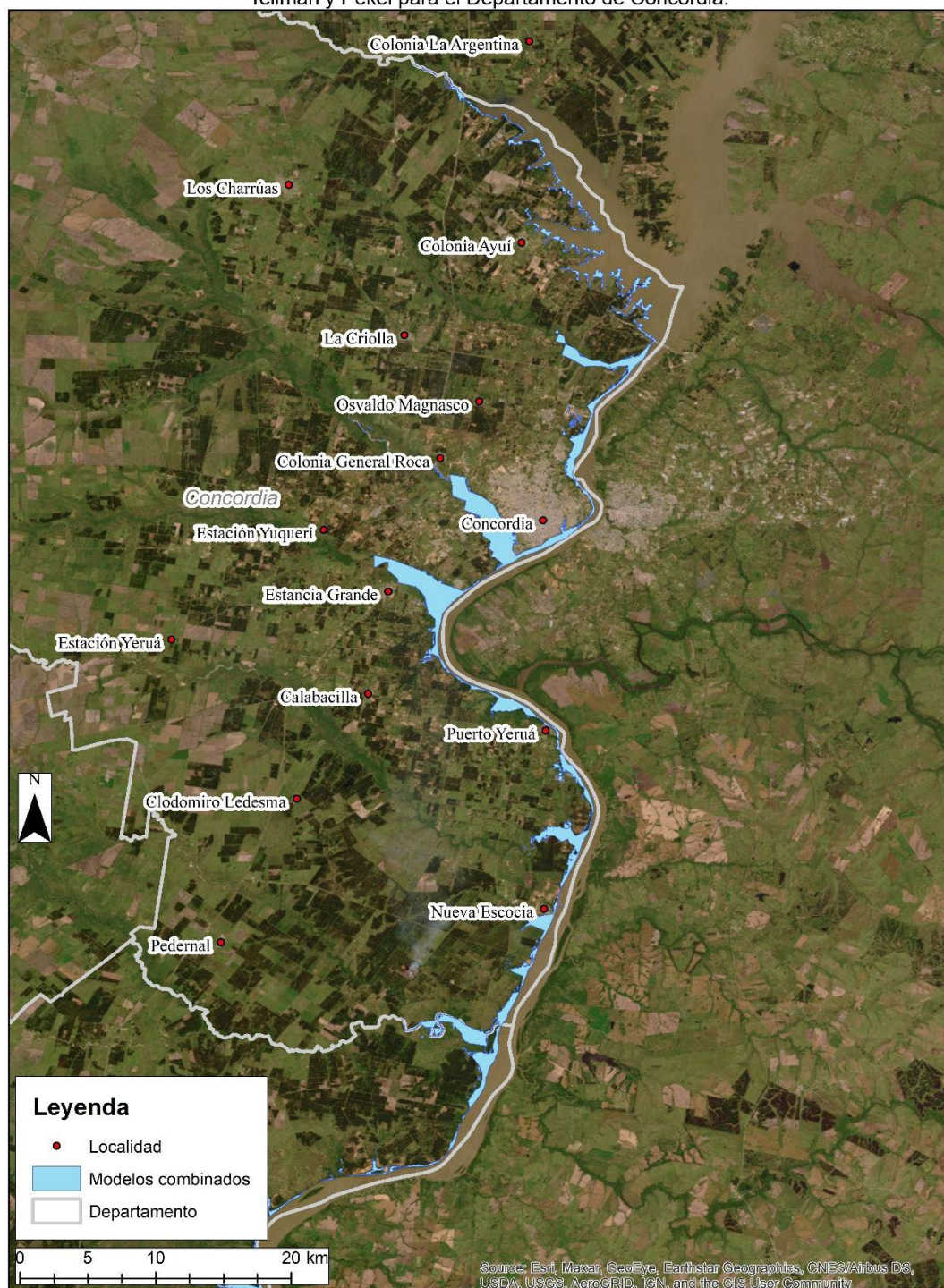
Mapa 3. Área de inundación, días de duración y áreas permanentes (ríos) en el Departamento de Uruguay con base en el modelo Tellman.

Área Potencialmente Inundables a partir de Área integrada de modelos
Tellman y Pekel para el Departamento de Colón

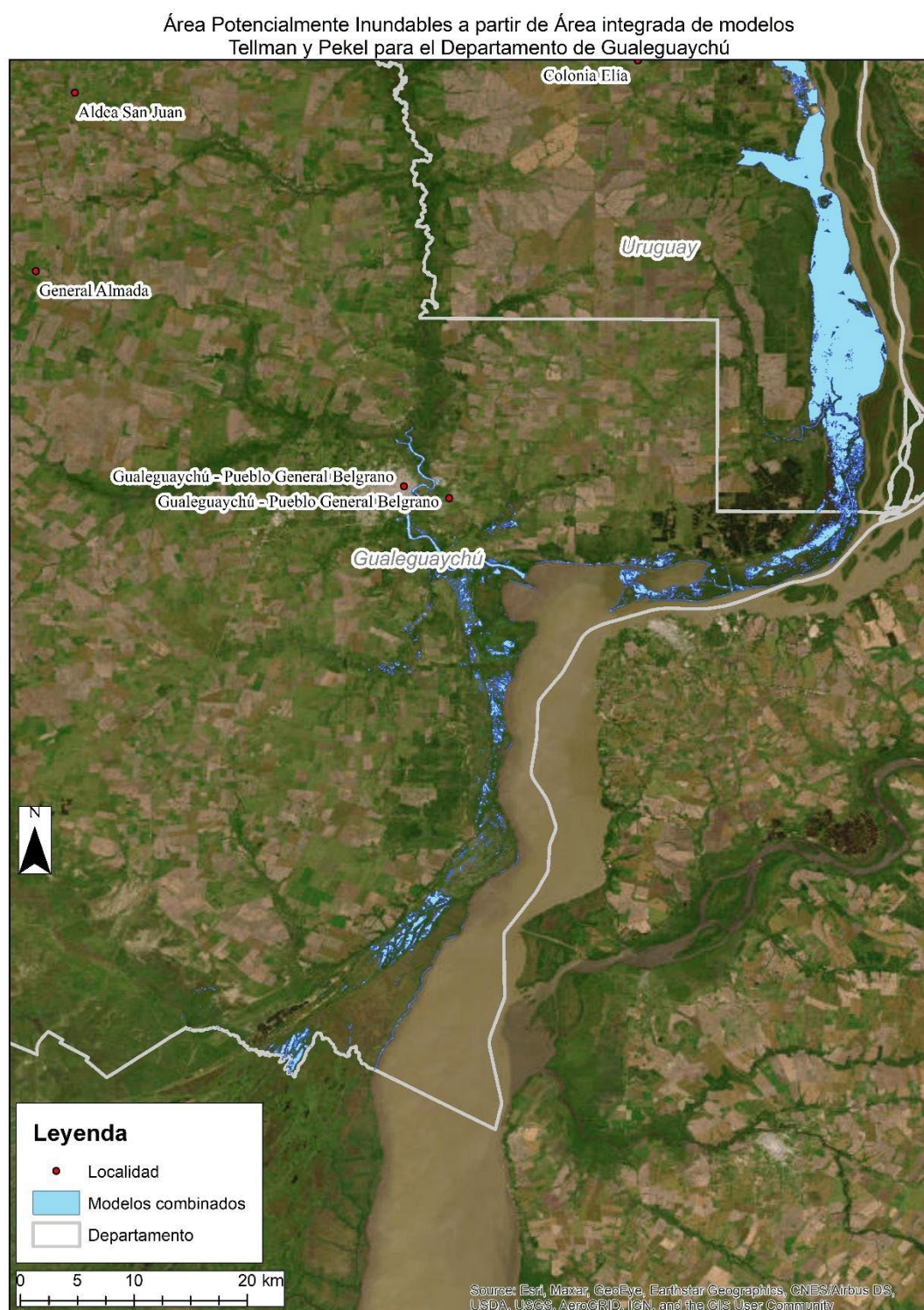


Mapa 4. Áreas Potencialmente Inundables (API) usando modelos Tellman y Pekel para el Departamento de Colón

Área Potencialmente Inundables a partir de Área integrada de modelos
Tellman y Pekel para el Departamento de Concordia.

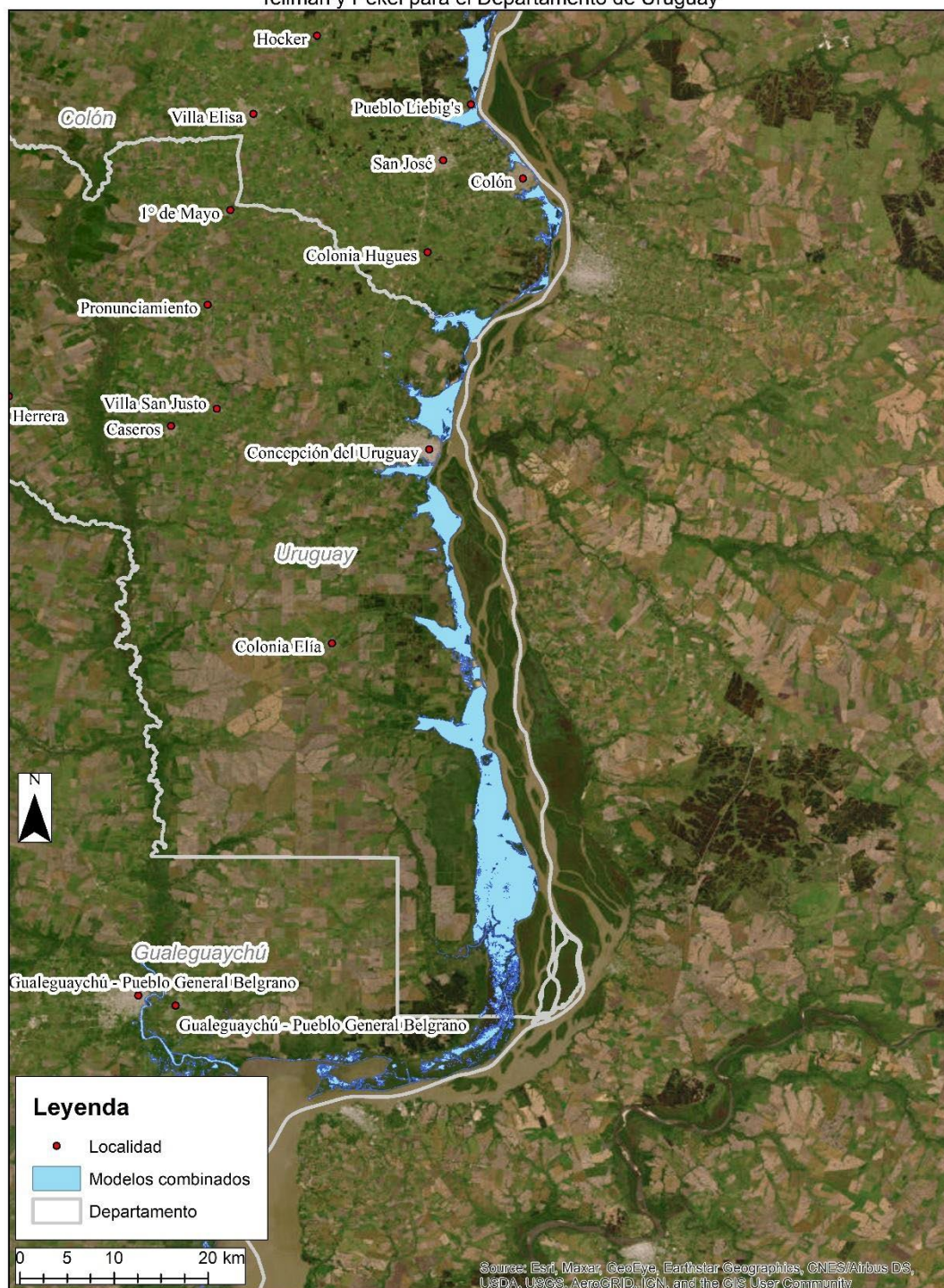


Mapa 5. Áreas Potencialmente Inundables (API) usando modelos Tellman y Pekel para el Departamento de Concordia



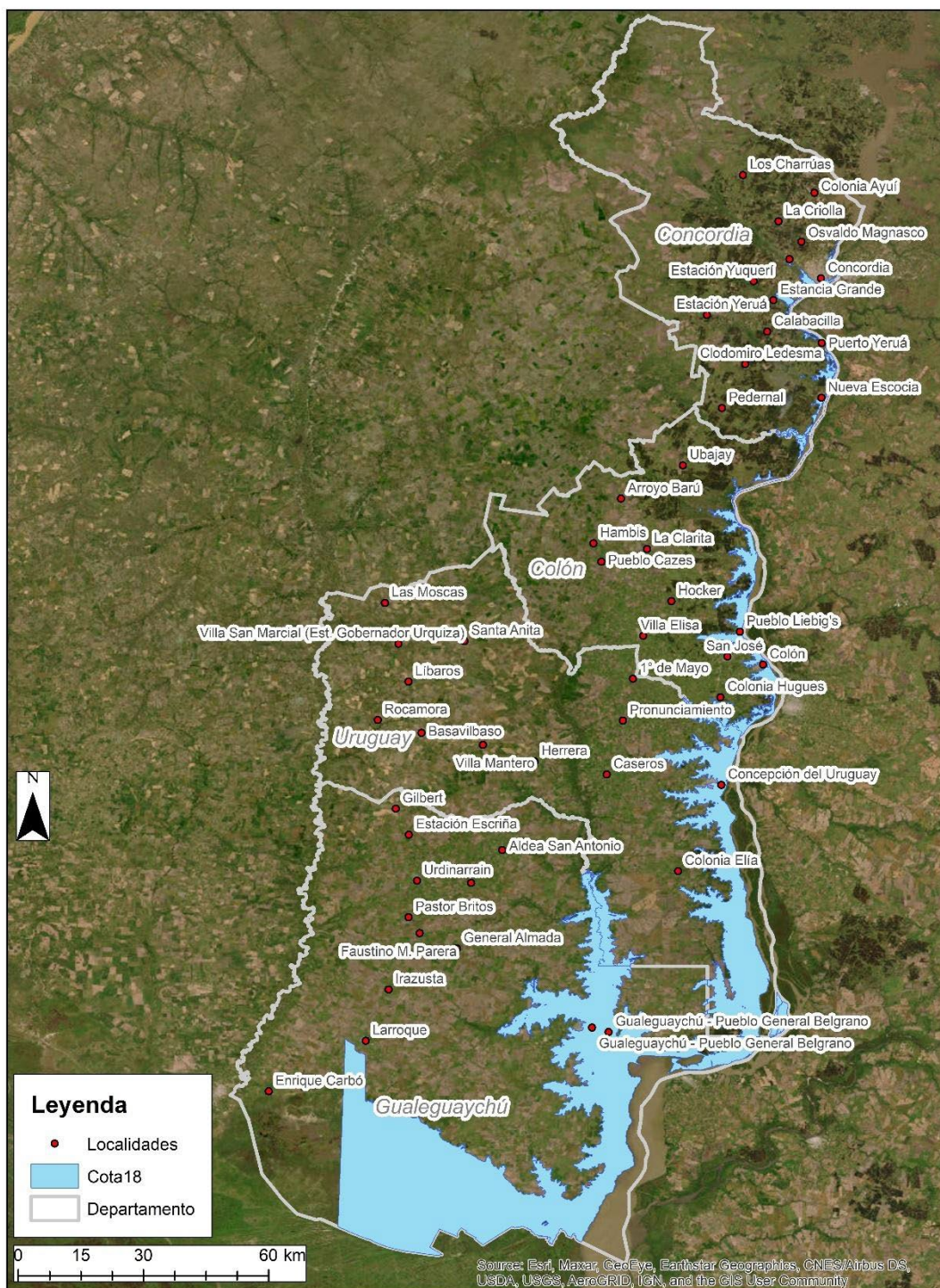
Mapa 6. Áreas Potencialmente Inundables (API) usando modelos Tellman y Pekel para el Departamento de Gualeguaychú

Área Potencialmente Inundables a partir de Área integrada de modelos
Tellman y Pekel para el Departamento de Uruguay



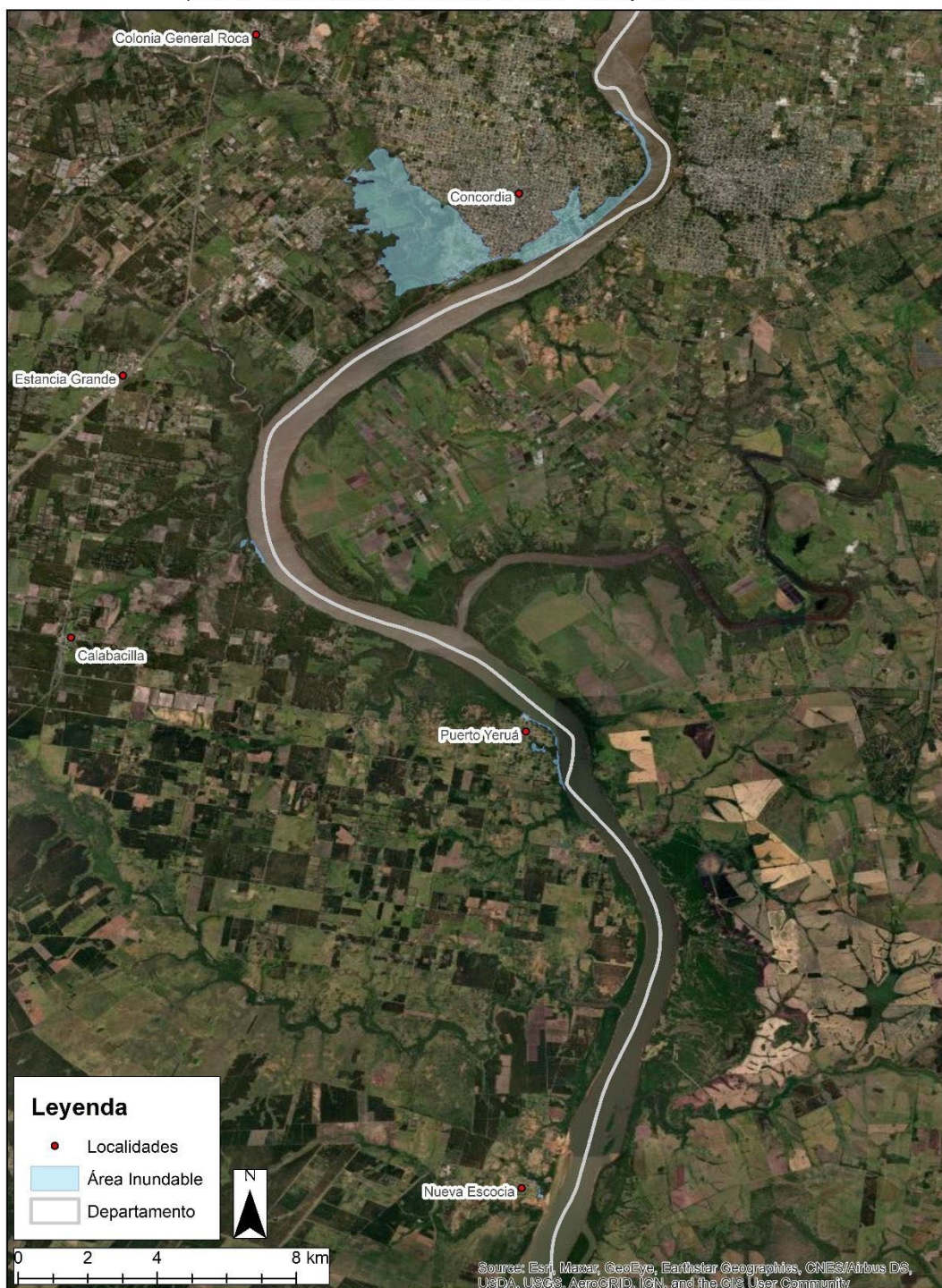
Mapa 7. Áreas Potencialmente Inundables (API) usando modelos Tellman y Pekel para el Departamento de Uruguay

Áreas Potencialmente Inundables a partir de la Cota Regional (18 m) sobre la región de estudio.



Mapa 8. Áreas Potencialmente Inundables (API) a partir de la Cota Regional (18 m) sobre el área de estudio.

Áreas Potencialmente Inundables a partir de la Cota API (18 m)
para las localidades de Concordia, Puerto Yerú y Nueva Escocia.



Mapa 9. Áreas Potencialmente Inundables (API) a partir de la Cota API (18 m) sobre las localidades de Concordia, Puerto Yerú y Nueva Escocia.

Áreas Potencialmente Inundables a partir de la Cota API (12 m)
para las localidades de Colón y Pueblo Lieblig



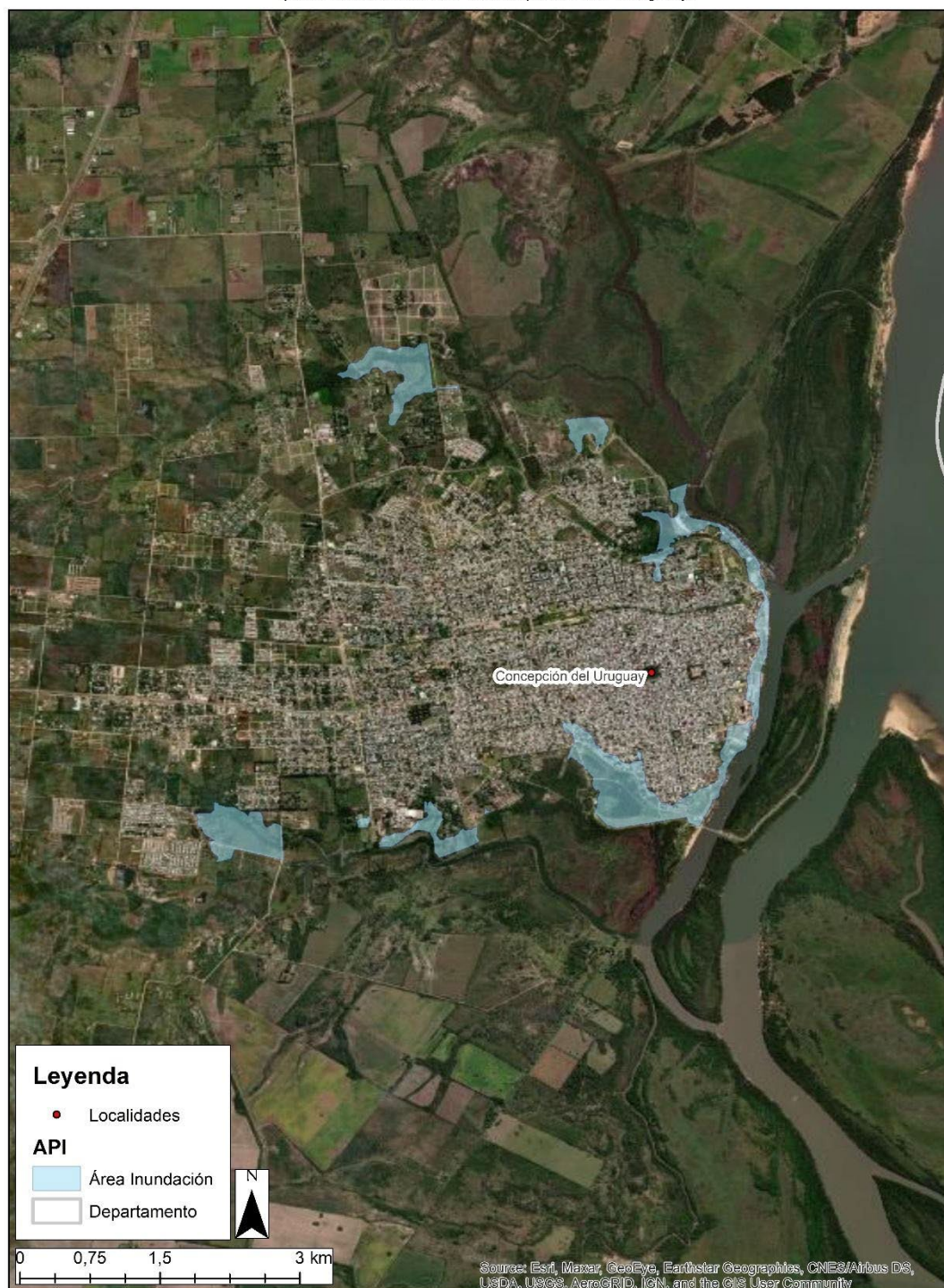
Mapa 10. Áreas Potencialmente Inundables (API) a partir de la Cota API (12 m) sobre las localidades de Colón y Pueblo Lieblig.

Áreas Potencialmente Inundables a partir de la Cota API (18 m)
para el Parque Nacional El Palmar (Departamento de Colón, ER)



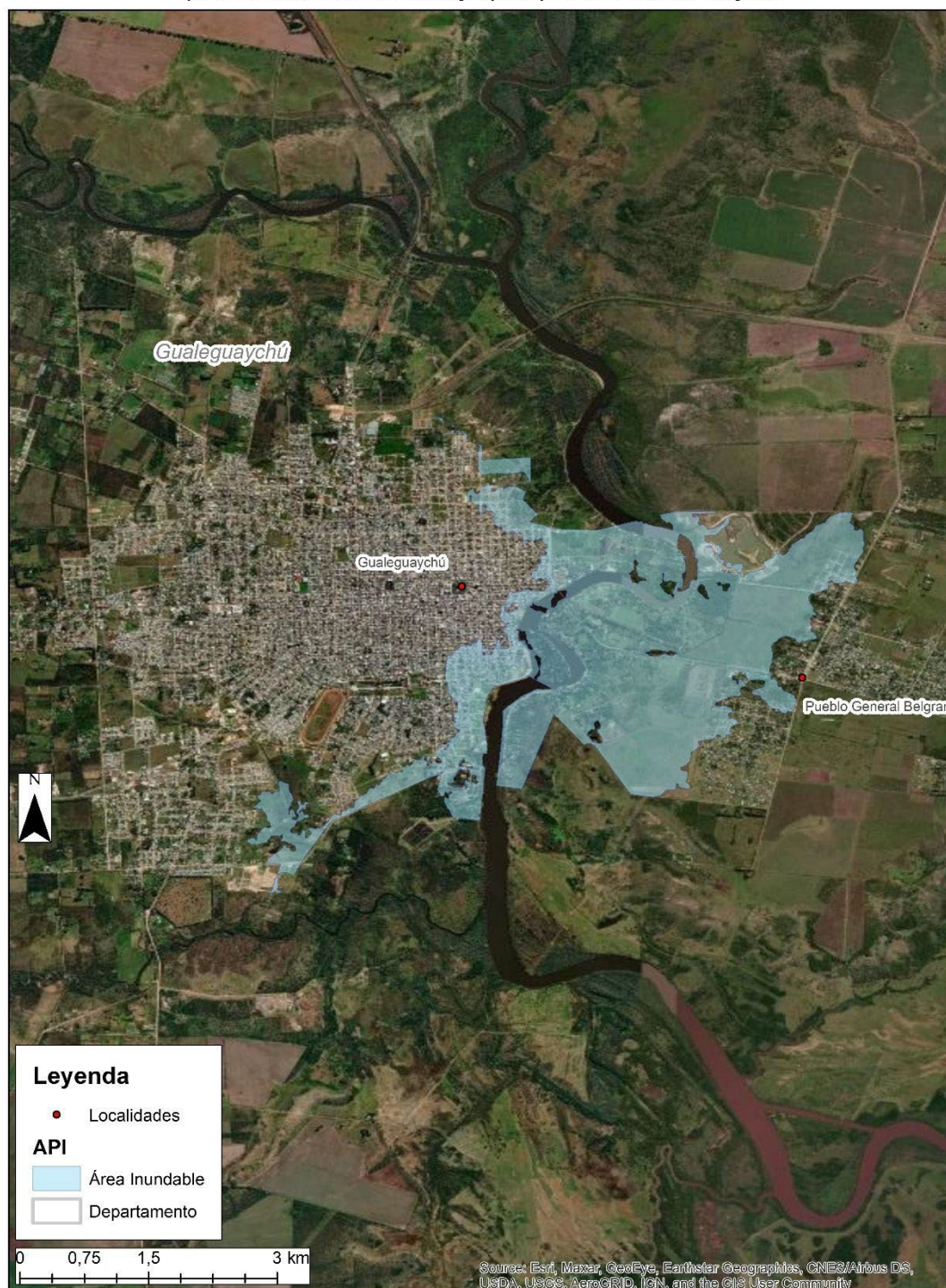
Mapa 10a. Áreas Potencialmente Inundables (API) a partir de la Cota API (18 m) sobre el Parque Nacional El Palmar (Colón, ER)

Áreas Potencialmente Inundables a partir de la Cota API (9 m)
para la localidad de Concepción del Uruguay.



Mapa 11. Áreas Potencialmente Inundables (API) a partir de la Cota API (9 m) sobre la localidad de Concepción del Uruguay.

Áreas Potencialmente Inundables a partir de la Cota API (7 m)
para las localidades de Gualeguaychú y Pueblo General Belgrano.



Mapa 12. Áreas Potencialmente Inundables (API) a partir de la Cota API (7 m) sobre las localidades de Gualeguaychú y Pueblo General Belgrano.

PRODUCTO 2

Colección (sin combinación) y mosaico de imágenes SRTM y aquellas de alta resolución (incluyendo las correcciones necesarias para su uso final en la definición del MDT) para todas las áreas a considerar, de acuerdo a lo solicitado en el Ítem IV, Inciso A.

Fecha: 14-09-2023

Autoría: Ignacio Agustin Gatti

ENTREGABLES: Colección (sin combinación) y mosaico de imágenes SRTM y aquellas de alta resolución (incluyendo las correcciones necesarias para su uso final en la definición del MDT) para todas las áreas a considerar, de acuerdo a lo solicitado en el Ítem IV, Inciso A (según los Términos de Referencia).

FORMATO: informe (pdf), mosaico de imágenes (tiff), información vectorial (shapefile), base de datos (xls).

FECHA DE ENTREGA: 16 de septiembre de 2023 (60 días calendario)

1. INTRODUCCION

Para la presente consultoría (UNDP-ARG-00105) se presenta en este informe el Producto 2 - Colección (sin combinación) y mosaico de imágenes SRTM y aquellas de alta resolución (incluyendo las correcciones necesarias para su uso final en la definición del Modelo Digital de Terreno o MDT) para todas las áreas a considerar, de acuerdo a lo solicitado en el Ítem IV, Inciso A. Esto según como fue convenido en el Cronograma de Términos de Referencia. El presente informe se divide en dos partes, fuentes y metodología y luego resultados.

2. FUENTES Y METODOLOGIA

Como primer paso se buscó determinar las principales fuentes para los distintos productos existentes respecto a la topografía de mayor detalle del río Uruguay en la Prov. De Entre Ríos. Se hicieron consultas con las principales fuentes oficiales a nivel

nacional, provincial y regional. Asimismo, se determinó la búsqueda de fuentes para esgrimir las áreas urbanas y otras localidades menores potencialmente afectables por inundaciones.

En la Tabla 1, se hace un resumen de las fuentes utilizadas para el presente producto 2. La primera fuente hace referencia al MDE-Ar v2.1 que distribuye el Instituto Geográfico Nacional (IGN), basado en datos del Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de la National Aeronautics and Space Administration (NASA). El modelo tiene una resolución espacial de 30m y una precisión vertical de aproximadamente 2m (IGN 2021). Este producto ya posee un filtrado perteneciente al complemento de herramientas de GDAL (programa QGIS) donde se filtra aquellos valores que se encuentren por debajo de un umbral establecido como parámetro, y le asigna el valor de pixel del vecino más cercano. La segunda fuente refiere a las Curvas de Nivel del IGN, obtenidas en base al Atlas 500k (IGN) tienen una equidistancia de 10 metros. La tercera refiere a los MDT de Gualeguaychú y de Concordia, obtenidos en base a vuelos de vehículo aéreos no tripulado (VANT) e-Bee Plus, realizados por parte del IGN en el año 2021. Luego se obtuvo otro MDT a partir de un vuelo realizado en 1998 por parte del Programa Papcus para la ciudad de Concepción del Uruguay, donde se obtuvieron curvas de nivel de equidistancia 1 metro. Luego se ha también trabajado con un mosaico de imágenes de áreas anegadas de la serie Landsat de la NASA y el United States Geological Service (USGS), para el periodo 1984-2021. Este mosaico corresponde a la máxima extensión de agua detectada por esta serie de satélites (Landsat 5,6,7,8) dentro de todo el periodo mencionado.

La última fuente, alejándonos de la caracterización de la amenaza y entrando en el área de población e infraestructura expuesta, hace referencia a los asentamientos presentes en los municipios analizados. Se tomó la base de datos de la Base de Asentamientos Humanos de la República Argentina (BAHRA), información geosocial del IGN e imágenes de alta resolución provistas gratuitamente por el servicio de Google Satélite.

Tabla 1 – Fuentes seleccionadas para el producto 2.

N.	Producto	Origen	Tipo de archivo	Resolución	Fecha de creación
1	SRTM/MDE-Ar v2.1	NASA/ IGN	ráster	30 m	2021
2	Curvas de Nivel	IGN	Vector	10 m (equidistancia)	2010
3	MDT Gualeguaychú y Concordia (drones)	IGN	Ráster	0.5 m	2021

4	MDT Concepción del Uruguay	Programa Papcus ¹ (Entre Ríos)	Vector	1 m (equidistancia)	1998
5	Inundaciones - mosaico Landsat series	NASA, USGS	Raster	30 m	1984-2021
6	Asentamientos	Bahra/IGN/IN DEC Google Satellite	Vector y ráster	Variable	2018

Para el MDE-Ar v2.1 se realizó en principio un mosaico para los departamentos de Concordia, Gualeguaychú, Uruguay y Colón (Figura 1). Se procedió de esta forma a realizar las correcciones geométricas correspondientes para minimizar al máximo la cantidad de errores. Asimismo, se dispuso la transformación de las Curvas de Nivel de 1 m de equidistancia de la ciudad de Concepción del Uruguay en un MDT. Estos dos productos, junto con el el MDT de 0.5 m correspondientes a las ciudades de Gualeguaychú y Concordia fueron filtrados y remuestreados para poder utilizarse en contemporáneo. Por otro lado, las Curvas de Nivel de equidistancia 10 m correspondientes a toda el área de estudio fueron transformadas a otro MDT, para ser tomadas como referencia. Se realizaron estadísticas de celdas para los 4 productos. Se tomaron los valores mínimos para los productos suavizados del MDE-Ar v2.1 y el MDT derivado de las curvas de 10 m de equidistancia. Con este resultado luego se tomaron los valores medios de los MDT 0.5 m suavizados y el MDT de las curvas de nivel 1 m de equidistancia. Este producto final derivó en un mosaico de MDT corregido para toda el área de estudio. Este incluye todas las áreas urbanas y las localidades potencialmente expuestas a inundaciones en la costa del Río Uruguay, Provincia de Entre Ríos. Este análisis se complementa con la detección de áreas inundadas a través de la serie Landsat, donde se utilizó el Global Surface Water (Pekel et al., 2016). Se realizó una selección de escenas para la parte del Río Uruguay de Entre Ríos y luego se realizó el mosaico.

Con respecto a los ejidos urbanos y otros asentamientos, utilizando la base de datos del BAHRA/IGN, se complementó a través del uso de imágenes satelitales de alta resolución de servicios gratuitos de Google Satellite. Todos los procesos, tanto de la topografía como de los asentamientos, se procesaron con el software libre QGIS 3.28.10.

¹ PAPCUS (Plan de Actualización y Perfeccionamiento Catastral Urbano y Subrural), Agencia Tributaria de Entre Ríos.

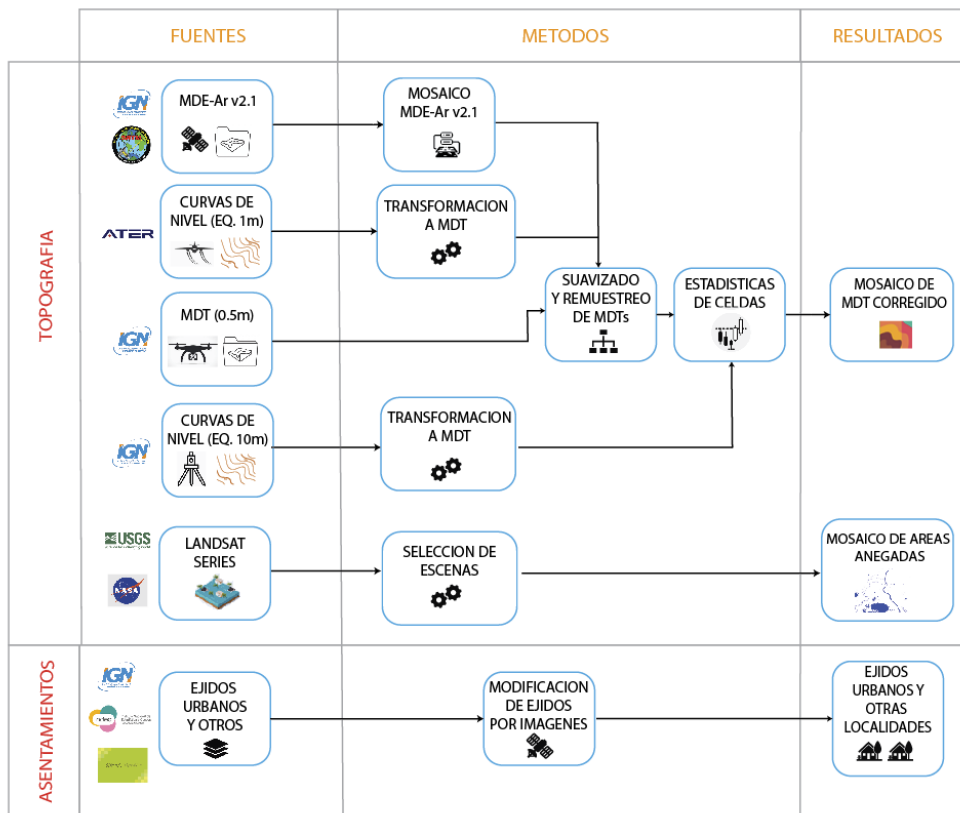


Fig. 1. Esquema metodológico para la obtención del Producto 2.

3. RESULTADOS

En esta sección pueden verse los resultados de los productos obtenidos. En la Figura 2 se observan ejemplos del mosaico sin combinación de MDT. Se observan inconsistencias geométricas y desequilibrios de color propios de este tipo de productos. Incluso se denotan píxeles donde se observan elementos superficiales (plantación de árboles) que deben ser filtrados.

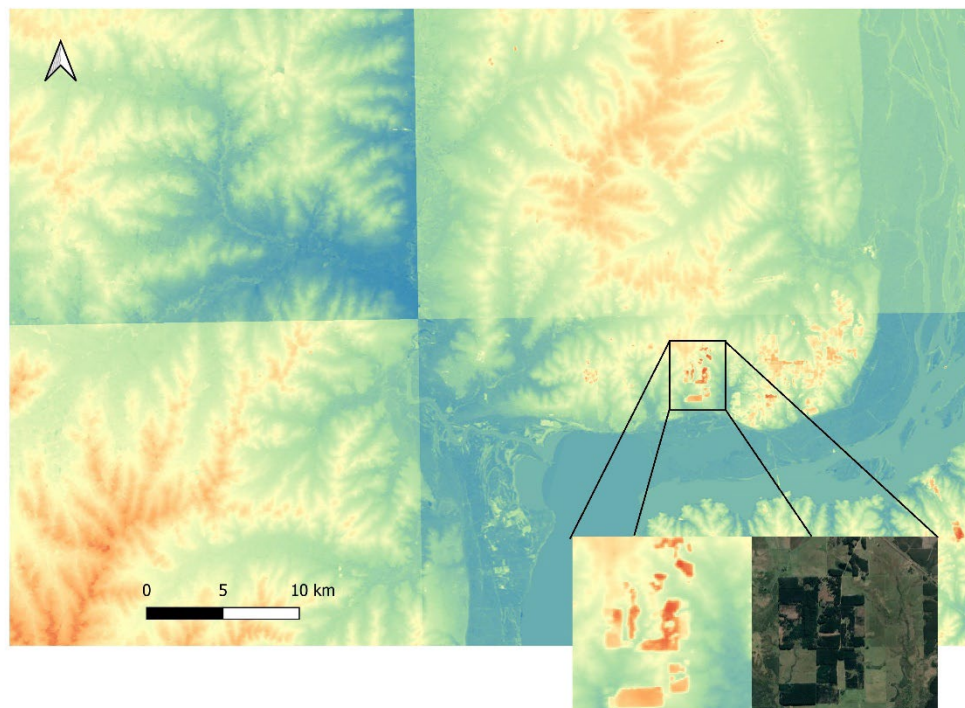


Fig. 2. Mosaico sin combinación de MDT de la zona de Gualaguaychú, costa del Rio Uruguay, Provincia de Entre Ríos.

En la Figura 3 se observa parte del mosaico del MDT, con combinación de los distintos raster. Se puede ver una homogeneización de la visualización de la topografía, pero todavía persisten ejemplos de errores remarcados en la Figura 2, con respecto alturas no correspondientes a la topografía del terreno. Se incluyeron en color negro las localidades presentes en el área como referencia.

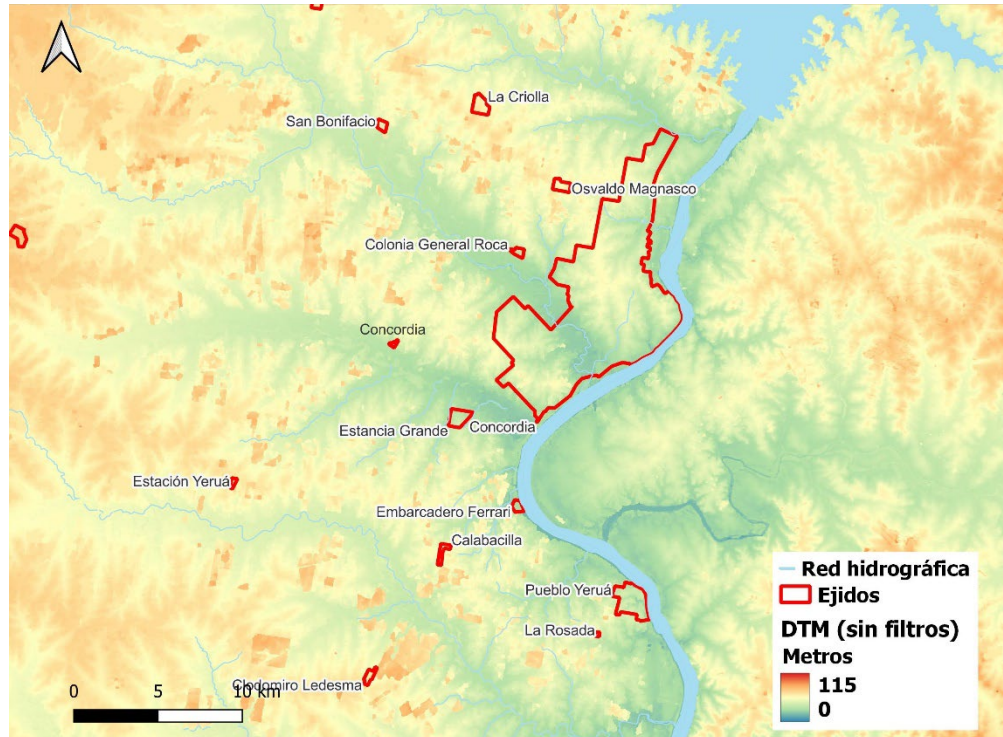


Fig. 3. Ejemplo de mosaico con combinación de MDT para la costa del Río Uruguay, Provincia de Entre Ríos.

Finalmente se observa en la Figura 4 el MDT final, luego de los procesos mencionados en la metodología. Se puede observar la aplicación de filtros donde se han removido las alturas correspondientes a áreas arboladas y/o infraestructura imposible de caracterizar bien la topografía del terreno, input fundamental para determinar la amenaza ante inundaciones.

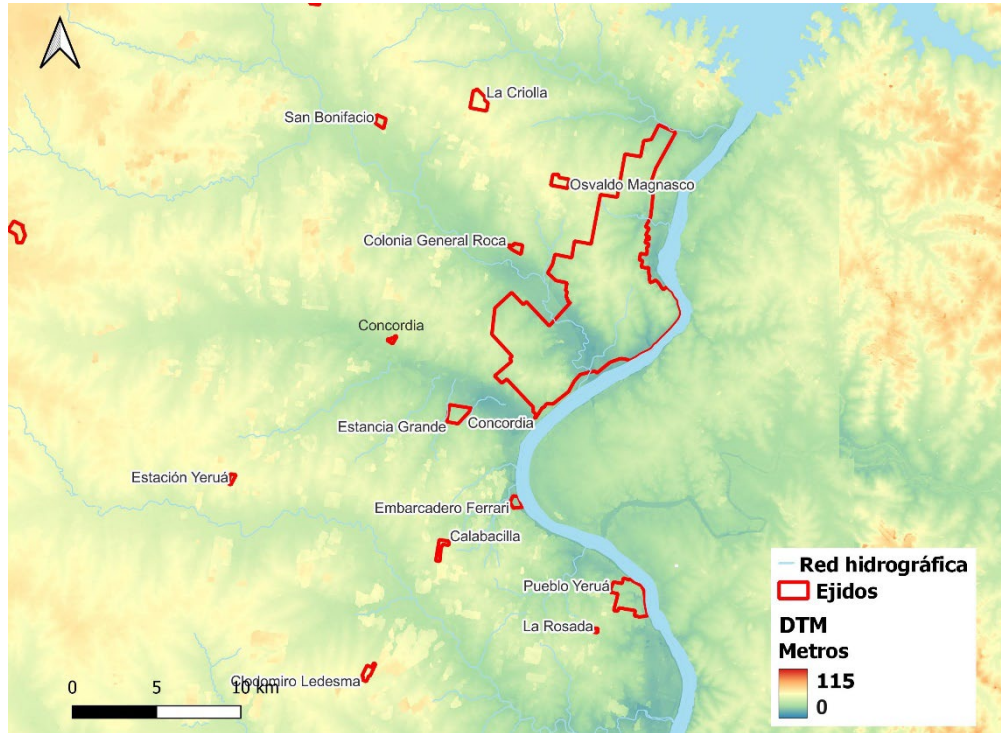


Fig. 4. Ejemplo de suavizado del MDT para la costa del Río Uruguay, Provincia de Entre Ríos.

Por último, se observa en la Figura 5 una captura de los asentamientos de la zona de estudio junto con la capa correspondiente a las zonas anegadas dentro del periodo 1984-2021 según Landsat. A los ejidos urbanos previamente digitalizados se agregaron localidades que corresponden a parajes/colonias/pueblos/otros, para poder realizar luego una primera estimación de la población e infraestructura expuesta.

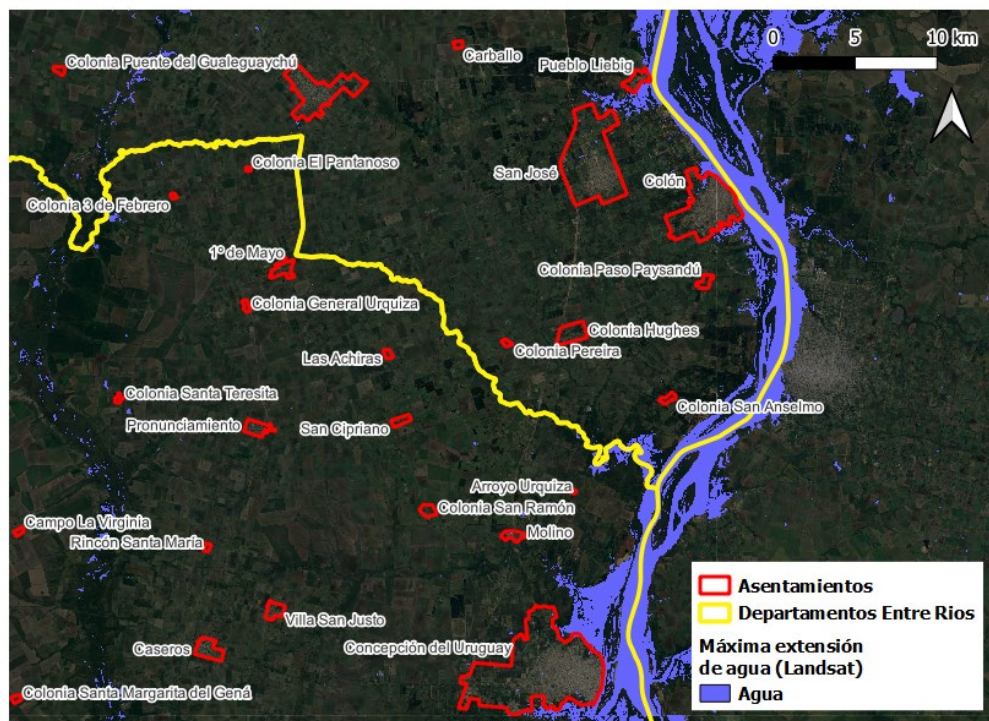


Fig. 5. Ejemplo de la base de datos de Ejidos urbanos y otras localidades menores para la costa del Río Uruguay, Provincia de Entre Ríos.

4. CONCLUSIONES Y DISCUSION

Las zonas de menor elevación cercanas al Río Uruguay representan las zonas de mayor peligrosidad ante distintos tipos de frecuencia de inundaciones. Para el armado del MDT final se realizaron varios tipos de pre and post procesamiento con el objetivo de armonizar los distintos tipos de modelos existentes y sus errores.

Además de los procesos descritos se realizaron también algunas pruebas comparando los MDT obtenidos con un MDT generado a través de información de radar por parte del Satélite Sentinel 1 del programa europeo Copernicus². Este tipo de productos se produce a través de metodologías de interferometría radar (Interferometric Synthetic Aperture Radar o InSAR) con una resolución espacial entre los 11-14 m. Sin embargo, se obtuvieron una considerable cantidad de errores por tratarse de áreas principalmente planas y se desestimó su utilización en el presente proyecto. Las áreas anegadas, los MDT y los asentamientos son los insumos

² <https://www.copernicus.eu/en>

necesarios para el Consultor Principal para determinar las áreas potencialmente inundables.

Se espera en las entregas futuras, continuar caracterizando la amenaza y estimar la exposición y vulnerabilidad social de la población de la costa de Río Uruguay.

Lista de Acrónimos

BAHRA = Base de Asentamientos Humanos de la República Argentina

IGN = Instituto Geográfico Nacional

INDEC = Instituto Nacional de Estadística y Censos

InSAR = Interferometric Synthetic Aperture Radar

NASA = National Aeronautics and Space Administration

MDE = Modelo Digital de Elevaciones

MDE-Ar = Modelo Digital de Elevaciones de Argentina

MDT = Modelo Digital de Terreno

SRTM = Shuttle Radar Topography Mission

UNDP = United Nations Development Programme

Bibliografía

IGN (2021) Modelo Digital de Elevaciones de la República Argentina versión 2.1, Dirección de Geodesia, Instituto Geográfico Nacional, Ciudad de Buenos Aires, Argentina, 48p. Disponible en: https://www.ign.gob.ar/archivos/Informe_MDE-Ar_v2.1_30m.pdf

Pekel, J. F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633), 418-422.

Fuentes online:

Bahra <http://www.bahra.gob.ar/> (consultada el 21/08/2023)

IGN – Capas Sig

<https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG>
(consultada el 21/08/2023)

IGN – Modelos Digitales de Elevaciones

<https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/ModeloDigitalElevaciones/Introduccion> (consultada el 18/08/2023)

Programa Copernicus – Unión Europea <https://www.copernicus.eu/en> (consultada el 24/08/2023)

Mes y año: septiembre 2023

Este documento ha sido elaborado en el marco de la implementación del proyecto regional (Argentina-Uruguay) Adaptación al cambio climático en ciudades y ecosistemas costeros vulnerables del río Uruguay. Se ha recibido una donación del Fondo de Adaptación para su realización y se implementa a través de CAF (Banco de Desarrollo de América Latina). Los componentes regionales del proyecto son ejecutados por PNUD y los componentes nacionales son ejecutados, respectivamente, por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Argentina y por la Corporación Nacional para el Desarrollo de Uruguay.

El análisis, las observaciones, las recomendaciones de políticas que contiene este documento corresponden exclusivamente a quienes lo han preparado y no reflejan necesariamente las opiniones de las entidades implementadoras y ejecutoras del Proyecto.

Mg. Ignacio Agustin Gatti
2023

14 de septiembre de



Consultor Asistente