



Proyecto

*Aplicación de ingeniería verde
para fomentar la retención de
sedimentos en suelos del Valle
Inferior del Río Chubut.*

Reporte a División Aguas de Danone S.A.

Septiembre 2019

Coordinador: Miguel Pascual (IPEEC- CONICET - CENPAT)

Nómina completa del Grupo de Trabajo en Anexo 1



Contenidos

Resumen Ejecutivo	4
Introducción	6
Motivación General del Proyecto.....	6
El Río Chubut Inferior, sedimentos y problemas de abastecimiento de aguas.....	7
Objetivos del proyecto	10
Objetivo 1. Conformación del Grupo de Trabajo.....	10
Objetivo 2. Identificación de sitios críticos de producción de sedimentos.....	10
Actividad 1. Caracterización de topografía, cobertura del suelo y características geomorfológicas del paisaje.	12
Actividad 2. Instalación y evaluación de instrumentos para cuantificar eventos climáticos y acarreo de sedimentos.....	12
Actividad 3. Modelos de erosión del suelo	16
Objetivo 3. Desarrollar un tratamiento de laboreo del suelo para aumentar la retención de sedimentos.	17
Actividad 1. Desarrollar e implementar un tratamiento de laboreo del suelo	17
Actividad 2. Evaluar el efecto de la labranza sobre infiltración de agua y retención del sedimento.....	19
Actividad 3. Evaluar el efecto de la labranza sobre la regeneración de la cobertura vegetal	22
Actividad 4. Evaluar el efecto del laboreo sobre la biodiversidad animal	23
Actividad 5. Evaluar la aplicabilidad y efectividad del laboreo como herramienta a escala regional.....	23
Actividades conexas y proyecciones del proyecto	25
Actividad 1. Proceso para la creación de un fondo de agua en el Río Chubut	25
Actividad 2. Creación de un sistema de monitoreo y alarma referido a eventos de turbiedad en el VIRCH	25
Anexo 1. Grupo de Trabajo.....	27
Anexo 2. Caracterización de topografía, cobertura del suelo y geomorfología en la Cuenca Armanino.	28
Anexo 3. Instrumentación meteorológica.	33
Anexo 4. Instrumentación de descarga de agua y sedimentos.	35
Anexo 5. Laboreo por el método de keyline.	38
Anexo 6. Ensayos de infiltración.	40

Blvd Brown 2915 - (U9120ACV) Puerto. Madryn, Chubut - ARGENTINA - CC 128 - TEL (280) 488-3184 (x1285)



Anexo 7. Monitoreo de biodiversidad de artrópodos 42



Resumen Ejecutivo

Los eventos de descarga de sedimentos al Río Chubut en la cuenca inferior generan serios problemas para la potabilización del agua de consumo de más de 250.000 habitantes. Las soluciones tradicionales basadas en obras de ingeniería clásica han sido insuficientes para paliar el problema.

Este proyecto investiga en forma sistemática y detallada las fuentes de sedimento en las laderas del valle inferior del Río Chubut y los eventos climáticos que producen descarga de sedimentos y turbiedad del agua.

Analiza además la factibilidad técnica y la efectividad de roturar la superficie del suelo en zonas productoras de sedimentos mediante un arado de tipo subsolador para aumentar la infiltración de agua y sedimento en el suelo, reduciendo la exportación de sedimentos al río.

Los estudios se concentran en una subcuenca piloto de 129 km² representativa de toda la zona productora de sedimentos (1.107 km²). Se realizó una caracterización detallada de la cobertura del suelo, la topografía y las características geológicas del suelo mediante imágenes satelitales, aerofotografía desde un dron de ala fija y trabajo de campo. Se completó además un mapeo geomorfológico de la subcuenca piloto, validado en el campo.

Se instaló una red de instrumentos meteorológicos y estaciones de aforo en los principales desagües de la subcuenca piloto a fin de caracterizar los eventos de precipitación y la descarga de agua y sedimentos al río. Este sistema de medición de precipitación-escorrentía emplazado fue puesto a prueba en 3 eventos de precipitación ocurridos en octubre y noviembre de 2018 y en marzo de 2019 con excelentes resultados.

La caracterización física de la cuenca y de los eventos climáticos y de descarga de sedimentos está destinada a producir insumos básicos para construir y calibrar un modelo de producción de sedimentos de la cuenca. Este modelo describe la relación clima-escorrentía-descarga de sedimentos, permitiendo determinar zonas críticas de producción de sedimento y evaluar la bondad de diferentes planes de remediación.

Se ensambló un arado de tipo subsolador y se probó exitosamente en el campo arrastrado por un tractor doble tracción de 150 HP. Con esta maquinaria se laborearon en el transcurso de 2018 y 2019 nueve parcelas experimentales con una superficie total de 159,15ha en 23 jornadas netas de trabajo de laboreo, a lo que hay que agregar los tiempos requeridos para el transporte de la maquinaria al campo y diversas roturas que se experimentaron en distintos momentos del proyecto.

Se realizaron experimentos de infiltración con un simulador de lluvia en zonas en condición natural (controles) y en zonas laboreadas. En estos ensayos, la tasa de infiltración en condiciones naturales (23,7% del agua precipitada) se elevó tres veces y media en las zonas laboreadas (82,75%) con respecto a los controles. El volumen de agua total adicional infiltrado considerando solamente la infiltración del agua caída directamente sobre las 159ha laboreadas estaría entre 140.000 y 280.000 m³. En base a modelado del procesos de escorrentía, infiltración de agua interceptada y la intensidad específica de los eventos de precipitación en un año típico, la estimación del volumen de agua total adicional infiltrado por efecto del laboreo excedería los 400.000m³.

Las zonas laboreadas y controles están siendo además monitoreadas en cuanto a la vegetación, a la biodiversidad de insectos y de aves, lo cual servirá como línea de base para contrastar futuros censos biológicos.

En base a las actividades desarrolladas se realizó un análisis primario de la efectividad del laboreo en la Cuenca Armanino y de su aplicabilidad al área total del Cuenco Aluvional. Resultados previos de nuestro equipo de trabajo indican que el 50% del sedimento exportado se origina en un 2,5% del Cuenco Aluvional (25km²) y el 65% del sedimento exportado se origina en un 5% del Cuenco



(55km²). Si se considera que en los experimentos de este proyecto se laborearon prácticamente 1,6 km², el laboreo de áreas significativas para la provisión de sedimentos a nivel de cuenca aparece como una tarea realizable. Por ejemplo, laborear los 25 km² (2.500ha) con parcelas que producen 50% del sedimento exportado de la cuenca podría realizarse en unas 350 jornadas efectivas de laboreo.

Con el auspicio de TNC, en diciembre de 2018 el equipo interinstitucional que participa de este proyecto comenzó formalmente a realizar el estudio de la factibilidad de un fondo de agua para el Río Chubut, el cual se encuentra en este momento en etapa de evaluación por parte de los técnicos de TNC. Debido a la importancia que las autoridades y la sociedad en su conjunto le asignan al problema del sedimento, el tema de su remediación aparece como uno de los temas más evidentes dentro de la concepción de un Fondo de Agua del Chubut. Los resultados de este proyecto serán de importancia fundamental para instrumentar la línea de trabajo de sedimentos; la financiación de Danone permitió caracterizar la magnitud del problema, diseñar y aplicar una acción específica basada en la infraestructura verde, verificar su efectividad y aplicabilidad a escala de cuenca para aumentar la infiltración, proveer los elementos básicos para realizar un análisis de retorno de la inversión y desarrollar un plan de trabajo específico.

Este proyecto fue presentado a la Federación de Cooperativas del Chubut, la cual nuclea a las cooperativas de agua potable de Puerto Madryn, Trelew y Rawson, las tres principales localidades de la cuenca. A partir de esa presentación logramos el apoyo de esta organización y comenzamos a delinear una colaboración para establecer un sistema de monitoreo de la turbiedad del río que pueda servir como sistema de alerta para las comunidades del Valle Inferior del Río Chubut.



Introducción

Este documento reporta las actividades desarrolladas por el proyecto *Aplicación de ingeniería verde para fomentar la retención de sedimentos en suelos del Valle Inferior del Río Chubut*, financiado por la empresa *Danone Argentina* a través de *The Nature Conservancy Argentina*. Se reportan las actividades realizadas desde el inicio del proyecto en Julio de 2017 hasta el 31 de agosto de 2019, en el cual se completaron todas las actividades del proyecto. En los próximos dos años se continuará con el estudio y monitoreo de la evolución de las zonas laboreadas, con el registro de eventos de precipitación y descarga de sedimentos, y con el análisis detallado y modelado del proceso de acarreo de sedimentos.

Motivación General del Proyecto

La Patagonia es naturalmente rica en recursos hídricos continentales. Desde una perspectiva global y a la escala regional, la disponibilidad de agua podría no ser considerada un problema en sí misma. Sin embargo, un análisis más detallado de la temática del agua revela un escenario bastante más complejo. El crecimiento poblacional, el desarrollo urbano, la agricultura, la explotación de minerales e hidrocarburos y las represas están transformando las cuencas fluviales de la Patagonia. Los proyectos mineros en cercanías de ríos se multiplican continuamente, generando reacciones públicas ante el temor por sus efectos sobre las aguas y el ambiente en general. Muchos ríos y lagos ya no son capaces de sustentar las famosas pesquerías del pasado. El agua dulce se está transformando en un recurso limitante para distintos núcleos urbanos de la región, particularmente para aquellos ubicados en el árido litoral Atlántico. Se espera que el cambio climático intensifique esta situación, agravándola en aquellas partes de la región donde los escenarios existentes contemplan disminuciones significativas en las precipitaciones, aumentos en la temperatura y mayor frecuencia de eventos extremos. Frente a esta situación, es imperativo diseñar estrategias e implementar acciones que tiendan a asegurar el agua para los centros urbanos y para la producción de manera sustentable.

La naturaleza juega un papel determinante en la provisión de agua para las poblaciones y las actividades económicas y en la moderación de eventos extremos. Es vital que el sector público y el privado comiencen a incorporar acciones destinadas a la conservación de los ecosistemas y los servicios que ellos proveen en sus decisiones de inversión y gestión.

En la Patagonia, la inversión en soluciones naturales basadas en la infraestructura verde puede mejorar la calidad del agua para más de 1 millón de personas, reduciendo costos de tratamiento para ciudades e industrias, preservando o recuperando el capital natural único y emblemático de la región y abriendo el camino hacia una auténtica sustentabilidad. Sin embargo, son prácticamente nulas las experiencias demostrativas para sustentar esta prédica. En este proyecto se conformó una alianza entre TNC, CONICET (a través del CENPAT – Centro Nacional Patagónico), INTA (a través de la EEA Chubut) y la Universidad Nacional San Juan Bosco (a través del departamento de Ingeniería Civil e Hidráulica) para desarrollar un proyecto de remediación en el valle inferior del Río Chubut a través de intervenciones de ingeniería verde para producir una reducción de sedimentos, regulación de flujo y aumento de

infiltración en terreno. Se espera que este proyecto no sólo contribuya significativamente a resolver el problema de las altas cargas de sedimento en las aguas del Río Chubut, sino que además se constituya en un modelo de aproximación conceptual y metodológica a los problemas del agua de la región patagónica en particular y del país en general.

Esta propuesta se articula a través de la Red EcoFluvial de la Patagonia, un proyecto regional fundado en 2012 por TNC y CONICET, que abarca las cuencas de los ríos Limay, Chubut, Gallegos y Grande (5 provincias, 1.043.000 habitantes, 200.000 km², 150 Millones de m³ de agua anuales). La Red EcoFluvial provee una cámara de resonancia regional para las actividades realizadas en el Río Chubut.

El Río Chubut Inferior, sedimentos y problemas de abastecimiento de aguas

La cuenca inferior del Río Chubut, conocida como Valle Inferior del Río Chubut (VIRCH), es el área del valle entre el Dique Ameghino y la desembocadura en el Océano Atlántico (Figura 1). Tiene una superficie de 5.960 km² e involucra el suministro de agua para consumo urbano, agricultura e industria a un conglomerado de ocho localidades y 250.000 habitantes (Figura 1).

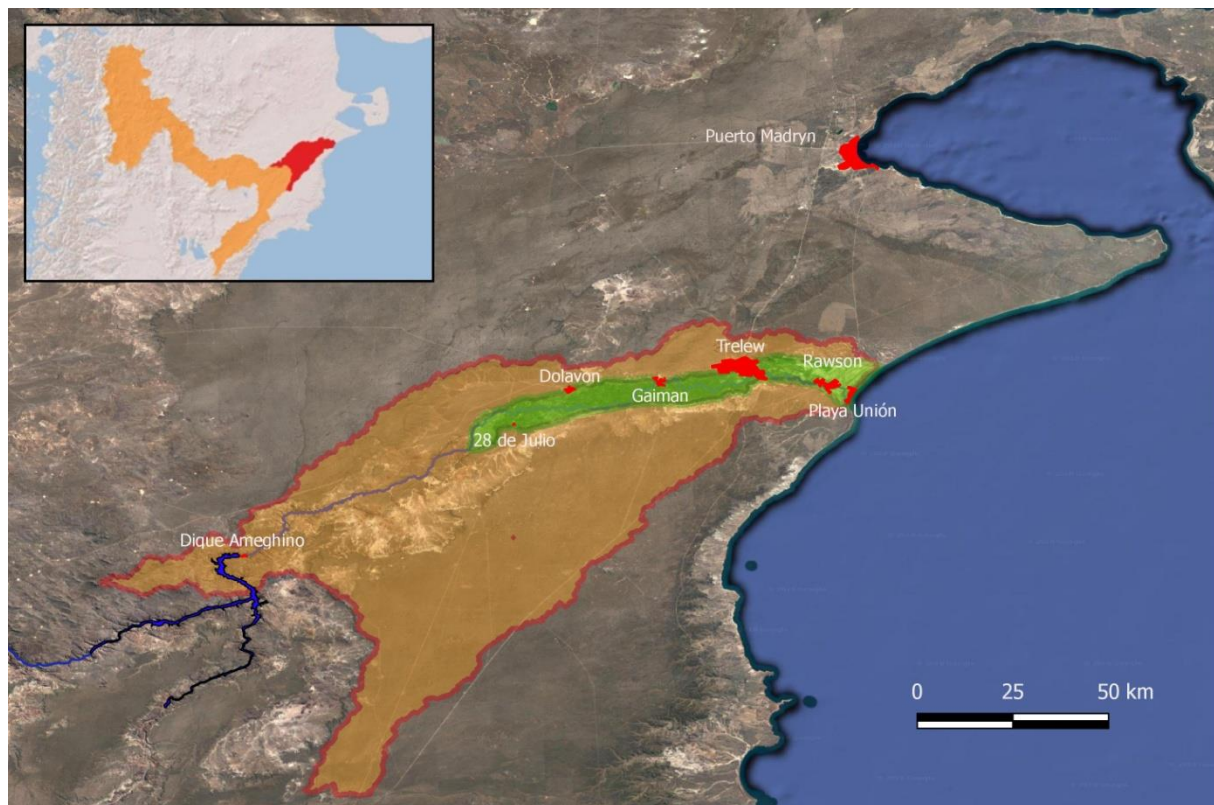


Figura 1: El Valle Inferior del Río Chubut (VIRCH) y su ubicación en la región (anaranjado), las ciudades que se nutren de agua potable del Río Chubut (rojo) y el valle irrigado (verde).

El Río Chubut tiene un caudal relativamente bajo en comparación con otras cuencas de la región ($47\text{m}^3/\text{seg}^1$) y tiene una gran variabilidad en la descarga tanto estacional, como dentro del año y entre años². En su transcurso desde sus nacientes en la Cordillera de los Andes hasta el Océano Atlántico atraviesa una de las zonas más intensamente erosionadas del país. Debido a estas características, el Río Chubut provee un catálogo de los problemas universales del agua: inundaciones periódicas por exceso de agua, años de sequía por escasez de agua y problemas de calidad de agua por grandes aportes de sedimento, nutrientes y sales.

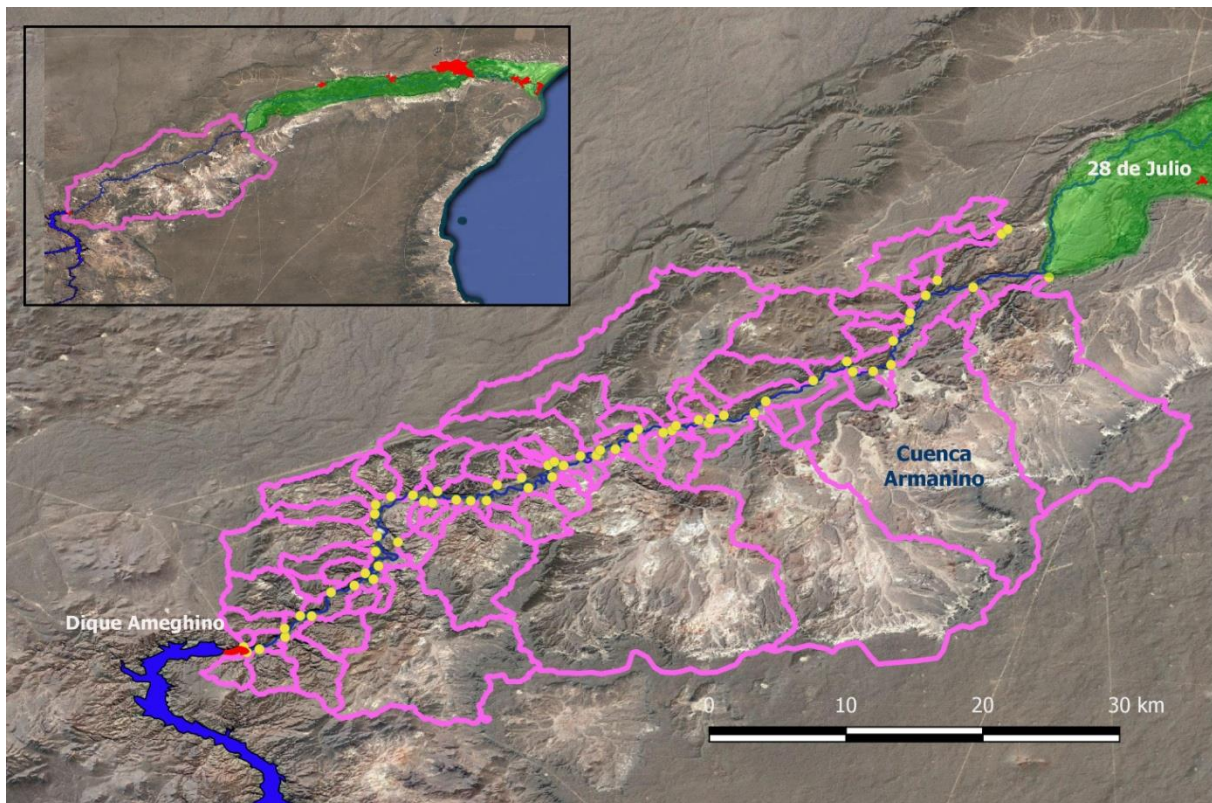


Figura 2: El Cuenco Aluvional Dique Ameghino-Boca Toma (área en fucsia en panel superior), zona productora de sedimentos en el VIRCH, la subdivisión en subcuencas de aporte al río (polígonos en gráfico principal) con sus desagües al río (puntos amarillos), y la Cuenca Armanino, la subcuenca piloto donde se concentran las actividades de este proyecto.

En el VIRCH, los aportes de sedimento provienen principalmente de las laderas del valle entre el Dique Ameghino y el comienzo de la zona irrigada, una zona de 1.107 km^2 , con baja cobertura vegetal, conocida como “Cuenco Aluvional Dique Ameghino-Boca Toma” (Figura

¹ Media histórica en Estación Los Altares, Subsecretaría de Recursos Hídricos.

² Tagliaferro, M., M.L. Miserendino, A.L. Liberoff, A.P. Quiroga & M.A. Pascual. 2013. Dams in the last large free-flowing rivers of Patagonia, the Santa Cruz River, environmental features, and macroinvertebrate community. *Limnologia* 43:500–509.



2), tal cual ha sido verificado por varios estudios previos³. Esta zona consiste en distintos cuencos o subcuencas que fluyen independientemente hacia el río y que ante eventos locales de precipitación vierten agua cargada de sedimentos al río. Para este estudio se ha re-analizado la subdivisión de cuencas, llegando a definir la conformación en 61 subcuencas y sus aportes al río principal (Figura 2). Estos eventos de precipitación-descarga de sedimentos ocurren periódicamente, varias veces al año, y son registrados aguas abajo en las plantas potabilizadoras de las ciudades del VIRCH (Figura 1), donde la carga sedimentaria dificulta e incluso impide la potabilización del agua (Figura 3).

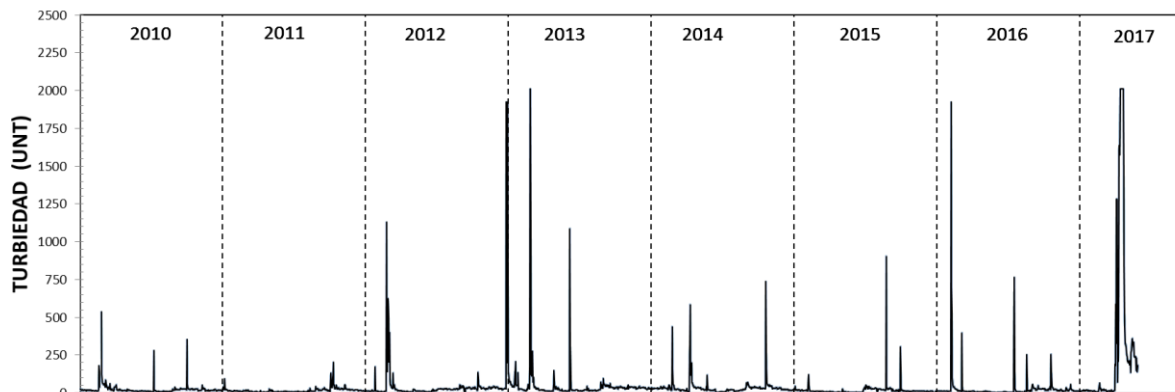


Figura 3: Turbiedad del agua (medida en unidades nefelométricas de turbiedad) registrada en la toma de la planta potabilizadora de la ciudad de Puerto Madryn en Trelew, en el período 2010-2017. Fuente: Servicoop Puerto Madryn.

Estos eventos duran típicamente 1 a 2 días, insumiendo costos adicionales en la potabilización pero sin consecuencias extremas para los usuarios. Sin embargo, en abril de 2017 un evento excepcional de precipitación sobre el Río Chico produjo un acarreo de agua y sedimentos hacia el Dique Ameghino que mantuvo la turbiedad alta en el embalse y el río por más de 30 días, sucediéndose cortes y restricciones al suministro de agua potable por tres meses. Este evento produjo una crisis hídrica inédita para las localidades del VIRCH⁴ y Puerto Madryn⁵.

El objetivo general de este proyecto es analizar el tema de la descarga de sedimentos al río desde la zona de los cuencos aluvionales desde un punto de vista que trascienda lo meramente diagnóstico y que provea herramientas concretas de remediación. Se busca además superar la métrica volumétrica que se utiliza corrientemente para medir objetivos y logros en proyectos de manejo de huella hídrica evaluando resultados en función de la contribución a la solución al problema del agua (reducción efectiva en la carga de sedimentos en agua o en la probabilidad de que ocurra un evento con características extremas).

³Serra, J.J. 1999. Riesgo de Erosión Hídrica en el Cuenco Aluvional del Área Dique F. Ameghino y Boca Toma Valle Inferior del Río Chubut, Pcia. del Chubut. Cuadernos del CIRIHAM 5 (2do semestre):63-83.

www.fceia.unr.edu.ar/curiham/Secciones/Cuadernos/Pdf-992/serra.pdf.

⁴http://www.diariojornada.com.ar/185346/sociedad/cooperativas_del_valle_y_madrin_no_potabilizaran_agua_por_tres_dias/

⁵http://www.diariojornada.com.ar/185549/sociedad/la_crisis_podria_durar_de_30_a_45_dias/



Objetivos del proyecto

Tres grandes desafíos se presentan para lidiar con el tema de sedimentos en el VIRCH: la capacidad técnica dispersa entre distintas instituciones y localidades; la enorme extensión de la zona de los cuencos (más de 100.000 ha); y la falta de herramientas específicas de remediación. Estos desafíos motivan los tres grandes objetivos de este proyecto:

1. Conformar un grupo técnico que pueda analizar el problema de la dinámica de sedimentos y sus efectos ambientales en forma integral.
2. Identificar los sitios críticos en cuanto a producción de sedimentos.
3. Desarrollar herramientas específicas y efectivas a la escala de cuenca para disminuir la escorrentía y aumentar la retención de sedimentos.

A continuación se reportan los resultados en cada uno de los tres objetivos principales y en las actividades específicas dentro de cada uno. Se utilizan Anexos para volcar aspectos técnicos y descripciones más detalladas de las distintas actividades del proyecto.

Objetivo 1. Conformación del Grupo de Trabajo.

Entender el proceso de producción, exportación y transporte de sedimentos, aplicar acciones de remediación, analizar su efectividad y efectos ecológicos requiere de capacidades y conocimientos provenientes de varias disciplinas científicas y técnicas. En base a este diagnóstico, se propuso como primer objetivo de este proyecto atraer profesionales en las tres instituciones participantes que cubrieran este amplio espectro de capacidades. Se conformó entonces un equipo de trabajo interinstitucional, con capacidades muy diversas y complementarias ([Anexo 1](#)). El equipo incluye profesionales de ingeniería hidráulica, de las ciencias del suelo y geológicas, meteorólogos, ingenieros agrónomos, ecólogos, y biólogos, posibilitando el tratamiento integral de la dinámica del sedimento a través de la articulación de los procesos climáticos, geológicos, edafológicos, hidrológicos y ecológicos. Este se considera un gran logro, ya que existen muy pocos antecedentes de grupos con estas características trabajando sobre un problema del agua bien definido y de gran valor aplicado. A lo largo de las actividades que se describen en las próximas secciones, el equipo de trabajo se ha consolidado, lo cual plantea la perspectiva concreta de desarrollar un programa de investigaciones de largo plazo relacionado con los problemas del agua en el Río Chubut en particular y en la Patagonia en general.

Objetivo 2. Identificación de sitios críticos de producción de sedimentos.

Desde los años 1990's, distintas investigaciones han generado estimaciones de la producción de sedimentos en la zona de cuencos en función de la precipitación, la cobertura y tipo de

suelo y la topografía^{2,6}. A estos estudios históricos se agregan dos realizados por participantes de este proyecto (Figura 4). Un problema que tienen todos estos análisis es la falta de respaldo de datos de campo referidos al comportamiento erosivo de los cuencos, los cuales tienen una gran heterogeneidad en la cobertura vegetal y sus características litológicas-geomorfológicas. Otro problema es la falta de validación de los resultados con alguna medida de la realidad. Por ambas razones, se reconoce que estas estimaciones tienen una gran incertidumbre.

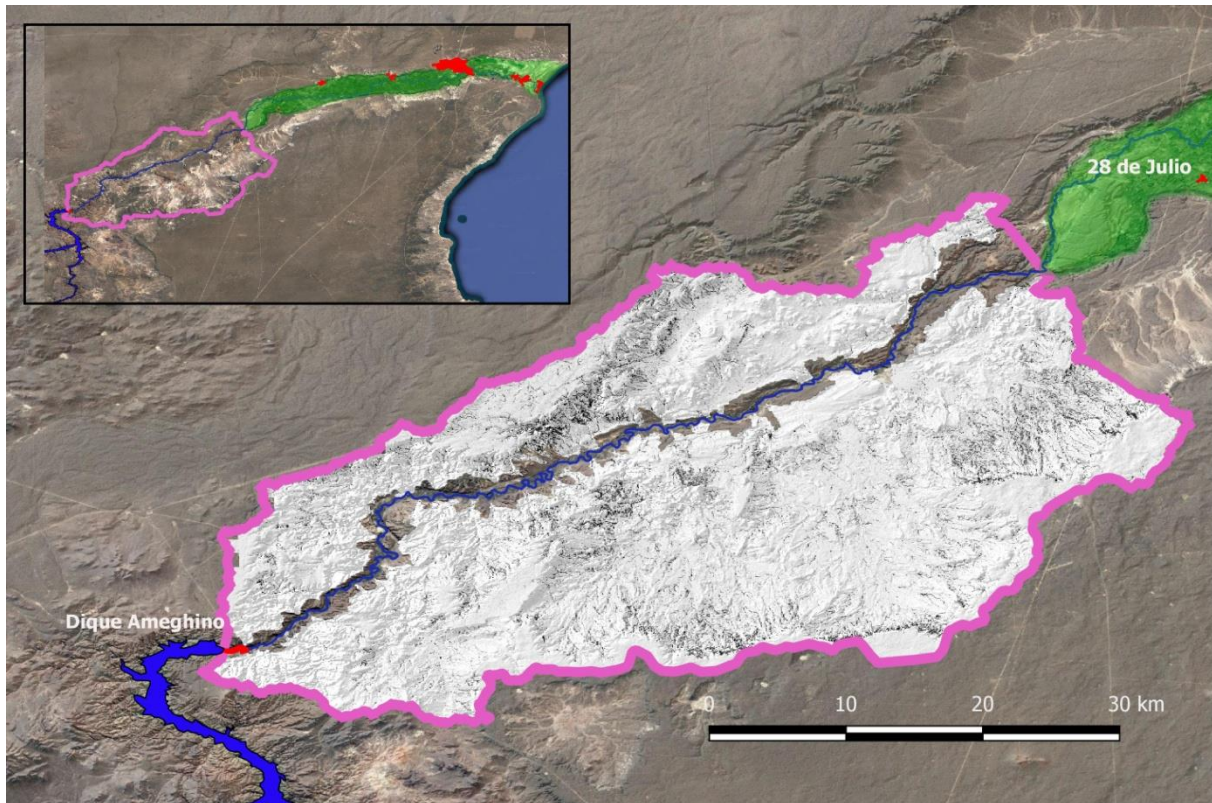


Figura 4: La clasificación de distintos pixeles en la zona productora de sedimentos en el cuenco aluvial del área Ameghino-Boca Toma (en panel superior) en cuanto a su contribución de sedimentos hacia el río según un análisis propio con el modelo InVEST⁷. Las zonas oscuras muestran zonas de mayor contribución (ver Anexo 5 por detalles).

El segundo objetivo de este proyecto plantea entonces tres actividades específicas: a) una caracterización fina del suelo y de la geomorfología del valle, b) la instalación de una serie de instrumentos en el campo para cuantificar eventos climáticos, escorrentía y acarreo de sedimentos y c) la calibración de modelos de erosión del suelo a esta información de campo

⁶Luque, J. y A. Beider. 2002. Caracterización de una Cuenca Degradada por Erosión Hírica en la Pcia. de Chubut. II. Incidencia de las características Físicas. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Abril del 2002. Puerto Madryn, Chubut.

⁷ <https://www.naturalcapitalproject.org/invest/>



para evaluar en forma fehaciente la retención de sedimentos en la zona del cuenco aluvional y la identificación de áreas críticas.

La instalación de instrumentos y laboreo se concentró en una subcuenca tipo, la Cuenca Armanino (Figura 2). Esta cuenca es representativa de la zona del cuenco aluvional en cuanto a cobertura vegetal y características geológicas, tiene un tamaño significativo (129km² ó 11,6% de la zona productora de sedimentos) y según resultados preliminares sería la segunda subcuenca productora de sedimentos (8% del total de sedimentos exportados al río de los cuencos, 6000 ton/año).

Actividad 1. Caracterización de topografía, cobertura del suelo y características geomorfológicas del paisaje.

La caracterización de la cobertura del suelo, la topografía y las características geológicas del suelo son insumos esenciales de los modelos de producción de sedimento, ya que determinan la susceptibilidad de una parcela a la erosión y la cantidad de sedimento que la misma libera. El [Anexo 2](#) provee información detallada de los procedimientos de análisis de información espacial.

Para este proyecto se derivaron datos de topografía y cobertura del suelo de información satelital a la escala de la Cuenca Armanino, validados por observaciones de campo. Esta información constituye insumos estándar de los análisis espaciales de producción de sedimentos como aquel mostrado en la Figura 4. Se realizó además una caracterización geológica del paisaje en base a la determinación de unidades geológicas y geomorfológicas, a partir del análisis e interpretación de imágenes satelitales y modelos digitales del terreno, con la validación de datos de campo. La clasificación geomorfológica consiste en la identificación de unidades discretas con características homogéneas en cuanto a su topografía, suelos y los procesos que le dieron forma. Como tales, capturan aspectos estructurales y erosivos del espacio. Mientras que el procedimiento habitual (Figura 4) es utilizar un modelo para inferir la movilización de sedimentos en base a datos de topografía, suelo y cobertura, el mapeo geomorfológico incluye a los procesos de producción y transporte de sedimentos como parte integral de la clasificación. En este sentido, el mapeo geomorfológico detallado en el [Anexo 2](#) (Figura A2.4) puede ser utilizado para identificar zonas críticas en cuanto al sedimento, tales como las zonas primarias de origen de sedimento, y zonas de transporte activo de sedimento (Figura A2.5).

Actividad 2. Instalación y evaluación de instrumentos para cuantificar eventos climáticos y acarreo de sedimentos.

La información requerida para correr y calibrar los modelos de producción de sedimento se completan con información meteorológica y con información referida a la descarga de agua y sedimento desde la cuenca. La primera provee información de los eventos de precipitación, un insumo básico de los modelos de erosión, y variables asociadas y la segunda permite obtener estimaciones directas de la escorrentía y acarreo de sedimentos que ocurren en respuesta a eventos determinados, permitiendo la calibración de los modelos.

Para obtener ambos tipos de información se instaló una red de instrumentos dispuestos en la cuenca Armanino para medir efectivamente los eventos de precipitación, escorrentía y transporte de sedimento (Figura 5). La instrumentación meteorológica consiste en una estación meteorológica completa y 4 pluviómetros adicionales instalados en distintas partes de la Cuenca Armanino que a través del registro automático permite reconstruir el desarrollo espacial y temporal de los eventos climáticos (Figura 5, detalles en [Anexo 3](#)). La instrumentación para medir la descarga de agua y sedimentos fue especialmente concebida, diseñada y construida para este proyecto y está dispuesta a la salida de los principales cañadones que recogen el agua de las distintas subcuencas que componen la Cuenca Armanino (Figura 5, detalles en [Anexo 4](#)). Los instrumentos están todos en funcionamiento y ya fueron sometidos a varias inspecciones.

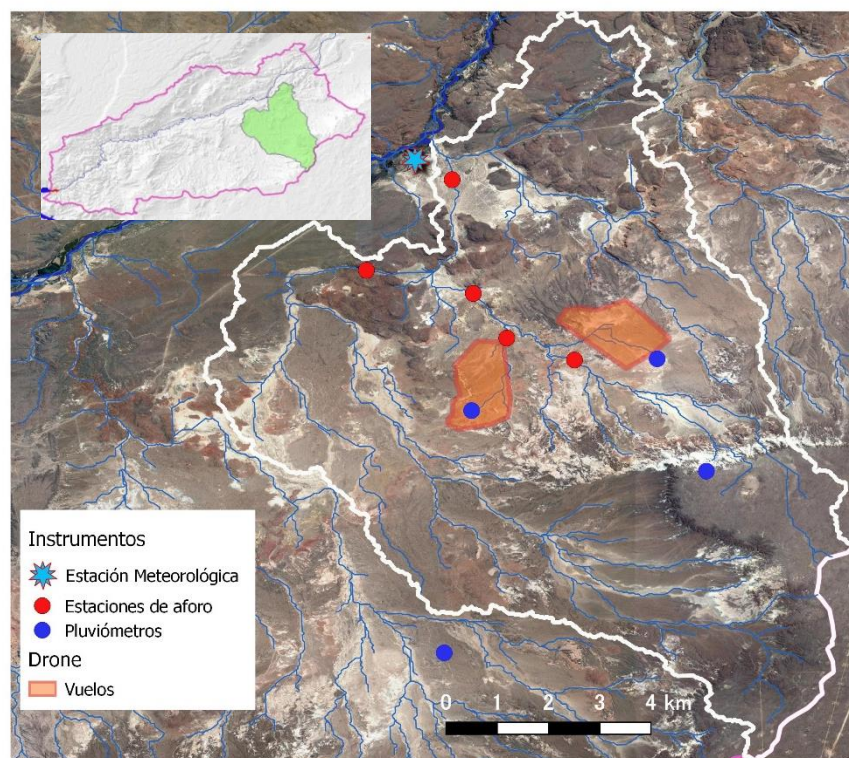


Figura 5: La Cuenca Armanino y el desarrollo geográfico de las principales actividades del proyecto: a) instrumentación meteorológica (Estación Meteorológica y 4 Pluviómetros adicionales en la Cuenca), instrumentación para medir descarga de agua y sedimentos desde distintas subcuencas (Estaciones de Aforo), zonas de vuelos de drone para mapeo detallado del terreno (Vuelos). Ver detalles técnicos en Anexos 2-4.

Durante el período de trabajo se registraron tres eventos de precipitación, pero que produjeron escorrentía importante a través de los cañadones y eventos de turbiedad elevada en las tomas de las plantas potabilizadoras. El primer evento se registró el 26/10/18 en el cual llovieron sobre la cuenca 21mm en apenas 30 minutos. El segundo evento se registró el 10/11/18 en el cual llovieron sobre la cuenca 8mm en 10 horas. El tercer evento se registró el 14/03/19 en el cual llovieron sobre la cuenca 43mm en 27 horas. Los tres eventos produjeron descarga de agua y sedimento de magnitud de la Cuenca Armanino (primer evento en Figura 6).

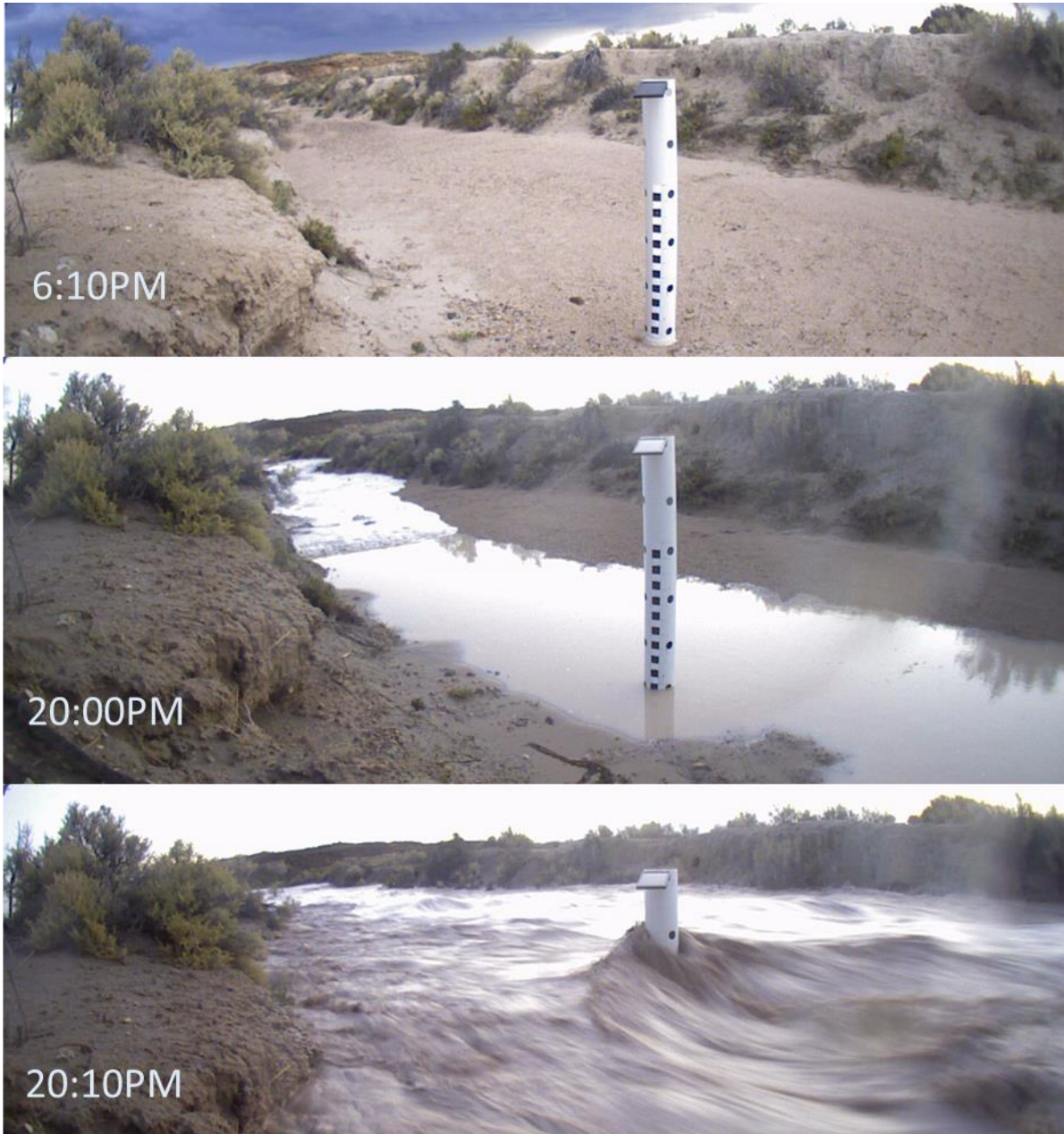


Figura 6. Tres momentos del evento de crecida del 26 de octubre de 2018 registrado en uno de los aforos construidos en la Cuenca Armanino (Aforo “Charito”).

Los datos registrados a lo largo del evento por las cámaras de los aforos permitieron reconstruir la descarga desde los cañadones y la secuencia temporal de la elevación de las aguas (elevograma). En base al mapeo detallado de las secciones de los cañadones en adyacencia de los aforos ([Anexo 4](#)) y modelado hidráulico se construyeron curvas altura-caudal para cada aforo, lo cual permitió convertir las elevaciones en curvas de caudales (Figura 7) para cada una de las subcuencas dentro de la Cuenca Armanino.

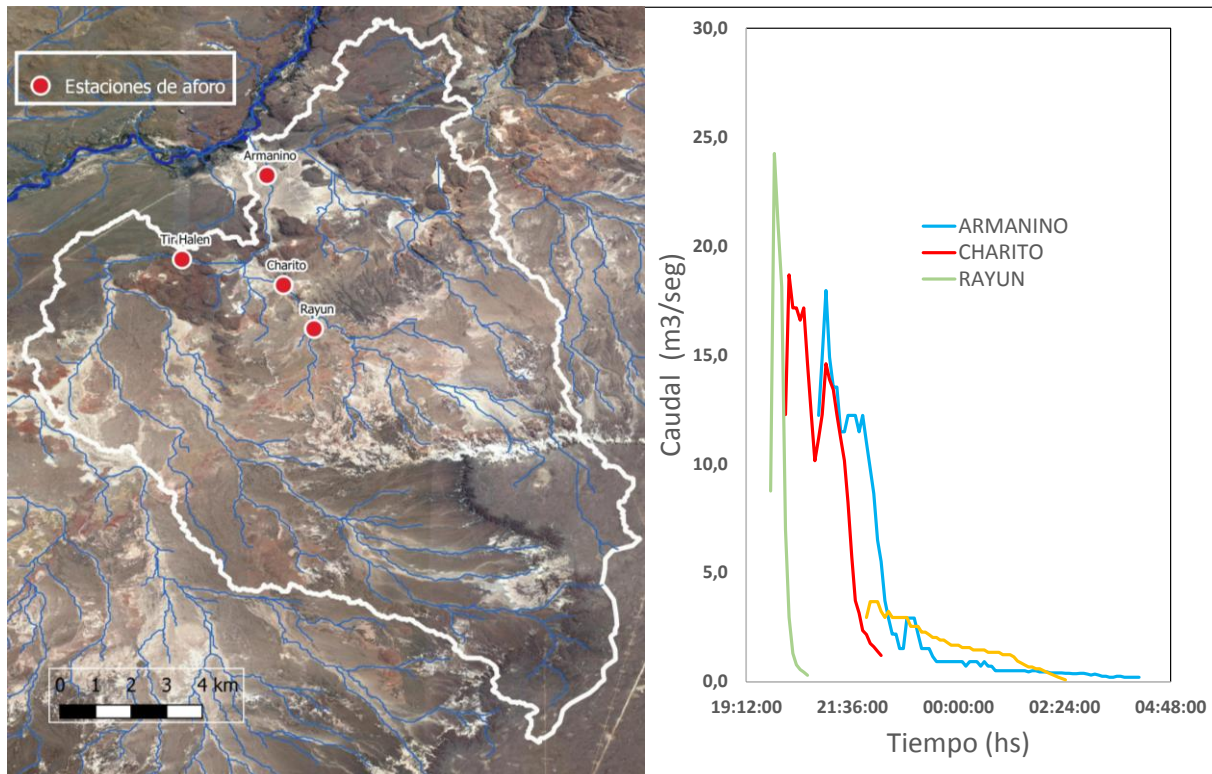


Figura 7. Curvas de caudal en los distintos aforos estimadas a partir de los elevogramas construidos en base a las fotos seriadas y datadas obtenidas por las cámaras time-lapse para el evento del 26/10/2018.

Las curvas de caudales permiten además estimar el volumen de descarga de agua desde las distintas subcuencas que componen la Cuenca Armanino para cada uno de los eventos de precipitación registrados por los pluviómetros en la cuenca. La Tabla 1 resume los eventos de precipitación registrados y las mediciones correspondientes de descargas en los distintos aforos. Debido a su ubicación en la parte baja de la sub cuenca, el Aforo Armanino presenta una buena estimación de la descarga que recibió el Río Chubut desde la cuenca Armanino completa. Por ejemplo, el caudal máximo de más de $41\text{m}^3/\text{seg}$ en el evento de marzo de este año es comparable al caudal medio anual del Río Chubut ($47\text{m}^3/\text{seg}$), resaltando la importancia del cuenco aluvional en el aporte de agua al Río Chubut Inferior cuando ocurren eventos locales de precipitación.

El análisis de la concentración de sedimentos recogidos en los colectores del aforo permitirá estimar la fracción sólida en la descarga y por lo tanto el volumen total de sedimentos descargados en cada evento y en cada aforo.



Tabla 1: Resumen de los datos de precipitación-escorrentía recogidos por el sistema instrumental emplazado en la Cuenca Armanino.

		26/10/2018	10/11/2018	14/03/2019
Precipitación media (mm)		21	8	43
Duración del evento (hs.)		0,5	10	27
Nivel máximo aforo (m)	Rayun	0,85	0,3	0,85
	Charito	1,15	0,8	1,5
	Tir halen	0,4	0,26	1,2
	Armanino	1,1	0,65	--
Caudal máximo (m3/seg)	Rayun	24,24	2,02	24,24
	Charito	18,68	10,14	33,65
	Tir halen	3,67	1,78	21,25
	Armanino	17,96	6,49	41,18
Descarga Total (hm3)	Rayun	1,54	0,36	0,85
	Charito	4,79	3,89	3,67
	Tir halen	1,7	0,54	5,61
	Armanino	4,88	2,24	9,29

Actividad 3. Modelos de erosión del suelo

A partir de las nuevas capas de cobertura del suelo (Actividad 1) e información de precipitación-escorrentía-descarga de sedimentos para eventos específicos (Actividad 2) se obtendrán parámetros mucho más confiables para correr el modelo de retención de sedimentos de InVEST⁶ (Figura 4) para la Cuenca Armanino. El modelo InVEST estima la exportación de sedimento al río desde distintos píxeles en una cuenca en función de las características del terreno (tipo de suelo, cobertura del suelo y pendiente) y de la lluvia (intensidad). Este modelo está basado en la denominada ecuación universal de pérdida del suelo (USLE de sus siglas en inglés), un modelo clásico que es la base de prácticamente todas las estimaciones de producción de sedimentos. El modelo InVEST incluye además un sub modelo de transporte de sedimento desde cada píxel en la cuenca hasta el curso de agua receptor. El resultado final es una valoración de todos los puntos o píxeles que conforman una cuenca en términos de su contribución de sedimentos al río, lo cual nos permitirá detectar las zonas más importantes. Las estimaciones de descarga efectiva de sedimentos para eventos determinados producidas por los instrumentos descriptos en Anexo 4 para determinados eventos de precipitación permitirán validar y calibrar el modelo.

A partir de septiembre de 2019 y durante todo el 2020 se estará confeccionando una nueva capa de cobertura del suelo que describa mejor la variación en terreno de superficies de distinta erodabilidad. A partir de esta información se estará corriendo el modelo InVEST para estimar la exportación de sedimentos de la cuenca utilizando los datos provenientes de las actividades de campo para derivar los parámetros de entrada y aquellos provenientes del sistema instrumental para calibrar el modelo. El resultado de este análisis será un mapa actualizado, calibrado y validado de la producción de sedimentos en los cuencos aluvionales, similar al de la Figura 4.



Objetivo 3. Desarrollar un tratamiento de laboreo del suelo para aumentar la retención de sedimentos.

La búsqueda de soluciones ingenieriles al problema de sedimentos ha contemplado mejoras en los sistemas de captación, reserva y potabilización del agua o la construcción de represas de contención en los cuencos que pudieran retener agua y sedimento. Ambas vías han sido insuficientes para lidiar con este problema. El objetivo 3 de este proyecto se enfoca en la búsqueda de acciones que produzcan mayor retención de agua y sedimento en la fuente del sedimento, el cuenco aluvional, a partir de acción mecánica sobre el suelo, el consecuente aumento de la infiltración, y la promoción de la cobertura vegetal. Se plantearon cinco actividades específicas: a) evaluar la posibilidad de aplicar un tratamiento del suelo basado en el laboreo con herramientas agrícolas, b) evaluar el efecto de la labranza sobre la infiltración de agua y retención del sedimento, c) evaluar el efecto de la labranza sobre la regeneración de la cobertura vegetal, d) evaluar el efecto de la labranza sobre la biodiversidad animal, e) en conjunto con los resultados del objetivo 1, evaluar la efectividad de la labranza a escala de todo el cuenco aluvional en términos físicos y económicos.

Actividad 1. Desarrollar e implementar un tratamiento de laboreo del suelo

La infiltración es el término aplicado al proceso de entrada de agua al suelo. La tasa o intensidad de este proceso relativo a la intensidad de la lluvia determina cuánta agua entrará al suelo y eventualmente quedará disponible para el crecimiento de las plantas y cuánta escurrirá sobre la superficie, acarreado además sedimento. Así, la tasa de infiltración no sólo afecta el balance de agua en el suelo sino que además determina la cantidad de escurrimiento y el consiguiente riesgo de erosión hídrica. Teniendo en cuenta que el agua se infiltra más lentamente y se mueve más rápidamente sobre una superficie encostrada y suave, condición frecuente en los suelos de las zonas áridas, el potencial de estas áreas para generar escurrimiento y producir sedimentos es elevada.

Algunas tareas de labranza agrícola pueden romper la costra superficial y los horizontes densos cercanos a la superficie, aumentando la rugosidad del suelo y la capacidad de retener agua en superficie (encharcamiento). Este proceso retarda el inicio del escurrimiento y disminuye su volumen lo que favorecería una mayor infiltración. En la Cuenca Armanino se seleccionaron 9 zonas de distinta configuración (Figura 8), sobre las que se realizaron intervenciones sobre la superficie del suelo con un arado de tipo subsolador ([Anexo 5](#)) con el objetivo de modificar el comportamiento hidrológico respecto de los caudales líquidos, el flujo de sedimentos y la retención de las precipitaciones dentro del perfil de suelo. El laboreo se realizó en tres períodos: fines de verano 2018 (entre 7/03/18 y 19/03/18), primavera 2018 (entre 25/09/18 y 20/12/18) y otoño 2019 (entre el 17/04/19 y 13/06/19) con un total de 23 jornadas efectivas de trabajo, más los traslados del tractor a la zona de trabajo y unos 4 días perdidos por reparaciones del tractor. A diferencia de métodos de arado más drásticos que perturban la estructura del suelo, el subsolado genera pequeños surcos, los cuales son practicados en forma transversal a las pendientes dominantes. La descripción de los instrumentos construidos para la intervención se encuentra en el [Anexo 5](#). Se labró una superficie total de 159,15ha, de las cuales 139,67ha se encontraban en las 8 parcelas labradas dentro la subcuenca Charito (Figura 8).

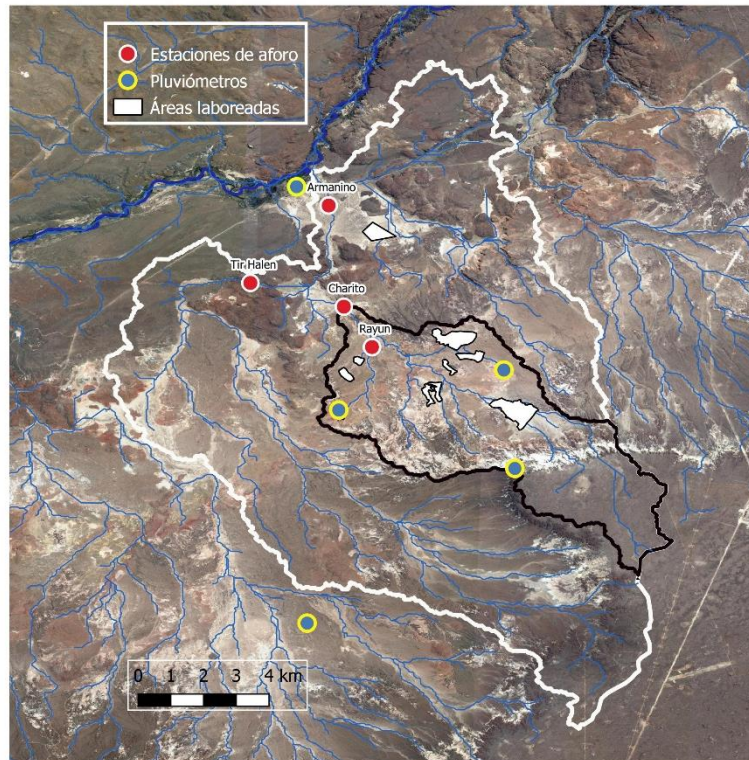


Figura 8: Actividad de laboreo en la Cuenca Armanino. Las 9 áreas en blanco fueron laboreadas durante 2018 y 2019 (total 159,15ha). Ocho de las nueve áreas se encuentran dentro de la subcuenca Charito (polígono con contorno en línea negra) de 139,67ha cuya descarga total de agua es registrada por el aforo Charito.

El proceso de subsolado fue muy exitoso en términos mecánicos, ya que la maquinaria, tractor y arado, se comportaron muy bien. Se logró además el resultado deseado específico: producir las hendiduras esperadas con perturbación menor de la vegetación arbustiva. La eficiencia de cobertura fue variable entre períodos de trabajo. En los dos primeros se pudieron labrar en promedio unas 9ha por jornada de trabajo efectivo (6 horas efectivas de trabajo, sin contabilizar los traslados del tractor desde Trelew hasta la Cuenca Armanino). En el tercer período, cuando se trabajó en áreas topográficamente más complejas, la eficiencia bajó a 6 ha por jornada de trabajo efectivo. El promedio de eficiencia total para todos los laboreos fue de 7ha por jornada. De ser necesario, esta eficiencia podría incrementarse, aumentando el número de elementos de subsolado. Por ejemplo, el arado utilizado se armó en base a un bastidor de cincel que, en función de la distancia entre cuerpos elegida, portó 3 elementos y alcanzó un ancho de labor de 2,7 m de ancho. El tractor del INTA (150HP y doble tracción) utilizado bajo estas condiciones desarrolló una potencia inferior a su capacidad, por lo que sería factible utilizarlo con más cuerpos. Sin embargo, habría que evaluar la capacidad de una herramienta más ancha para maniobrar y preservar los arbustos.

Vale destacar que encontramos varios contratiempos relacionados con pinchaduras de neumáticos del tractor debido al trabajo sobre arbustos espinosos del monte. Cada pinchadura requirió extraer el neumático y trasladarlo en camioneta a Trelew para su arreglo. Si bien finalmente solucionamos el problema con aerosol sellante de neumáticos, perdimos varias



jornadas de trabajo y no llegamos a laborear la superficie esperada para el tiempo empleado. También sufrimos dos roturas importantes del tractor. Todos estos contratiempos característicos del trabajo en una zona agreste y remota deben ser considerados en las evaluaciones de eficiencia de trabajo a escala.

Actividad 2. Evaluar el efecto de la labranza sobre infiltración de agua y retención del sedimento

La evaluación del escurrimiento / infiltración y la erosión de los suelos bajo condiciones de lluvia natural requiere de largos períodos de observación, sobre todo en ambientes áridos donde la frecuencia de lluvias con alta capacidad erosiva es baja. Esta limitación ha sido resuelta en parte mediante el empleo de simuladores de lluvia con los cuales se puede obtener información de buena calidad en tiempos reducidos y a costos relativamente bajos.

Entre los días 11/04/18 y 13/04/18 se llevó a cabo un estudio con lluvia simulada para determinar la tasa de infiltración, el escurrimiento superficial y la producción de sedimento en áreas donde se había implementado el subsolado y en áreas adyacentes sin tratar que sirven como control del efecto del subsolado. Se realizaron dos ensayos en dos sitios laboreados, con sus respectivas zonas control, Los detalles de este procedimiento y resultados de los ensayos se encuentran en el [Anexo 6](#).

Los experimentos mostraron un notable efecto del laboreo sobre la capacidad de infiltración del suelo, la cual se incrementó desde un promedio de 23,7% del agua aplicada en las zonas sin tratar a un 82,75% en promedio en las áreas laboreadas.

Tabla 2: Estimación del volumen de agua infiltrado en parcelas con laboreo y en condiciones naturales (sin laboreo) para un año seco y para un año húmedo.

	Mínima	Máxima	Unidades
Precipitación anual en la zona	150	300	mm ó L/m ²
Infiltración sin laboreo (23,75%)	36	71	mm ó L/m ²
Infiltración con laboreo (82,5%)	124	248	mm ó L/m ²
Llevado a las 159,15 ha (1.591.500 m ²)			
Infiltración sin laboreo (23,75%)	56.697.188	113.394.375	L
Infiltración con laboreo (82,5%)	196.948.125	393.896.250	L
Infiltración adicional a causa del laboreo	140.250.938	280.501.875	L
	140.251	280.502	m³

. Estos resultados demuestran que el laboreo tiene un efecto muy significativo sobre la capacidad de infiltración del suelo en el corto plazo, aumentando la infiltración en más de tres veces con respecto a zonas no laboreadas. En base a estos valores, realizamos estimaciones



del volumen de agua que sería infiltrada anualmente como resultado del laboreo por infiltración directa del agua precipitada sobre las parcelas (Tabla 2).

El procedimiento utilizado para estimar el volumen de agua infiltrada es simplificado en cuanto a dos aspectos. El primero es que los experimentos fueron realizados a una intensidad de precipitación determinada (95mm en una hora), pero se asume que el diferencial de infiltración logrado (de 24% a 83%) es invariante. En realidad el porcentaje de infiltración disminuye con el volumen de agua precipitada debido a la saturación del suelo y la consecuente disminución de la capacidad de almacenamiento e infiltración. La segunda simplificación es que consideramos solamente la infiltración del agua caída directamente sobre la parcela seca, sin tener en cuenta la escorrentía y la infiltración agua interceptada a medida que se forman los caudales a lo largo de la cuenca. A fin de producir estimaciones más realistas del agua infiltrada en escenarios sin y con laboreo aplicamos un modelo hidrológico de precipitación-escorrentía (Modelo GSSHA, dentro del ambiente “Watershed Modelling System”, WMS). Debido a que el mismo debe ser aplicado a una unidad hidrológica bien definida, lo aplicamos a la Cuenca Charito bajo un escenario de base y uno con laboreo de 137ha, y realizamos simulaciones para diferentes escenarios de precipitación.

Inicialmente realizamos una corrida del modelo para la tormenta registrada en marzo de 2019, cuando los pluviómetros en la cuenca registraron 44mm caídos en tres días, estimando los efectos del laboreo sobre el caudal pico y la escorrentía en la Subcuenca Charito (Tabla 3).

Tabla 3: Estimación del efecto del laboreo en la Subcuenca Charito en términos absolutos y relativos en cuanto al caudal pico y a la escorrentía para el evento de marzo de 2019.

CAUDAL PICO (m3/seg)		
SIN SUBSOLADO	CON SUBSOLADO	Variación (Porcentual)
45,5	36,8	8,7 (19%)
ESCORRENTÍA (m3)		
SIN SUBSOLADO	CON SUBSOLADO	Variación (Porcentual)
357.664	294.074	63.590 (18%)

Como se puede apreciar en esta tabla, en un solo evento se habría producido una infiltración adicional de más de 63.000 m³ de agua a nivel de la Sucuenca Charito.

En una segunda corrida del modelo evaluamos el efecto del laboreo sobre el caudal pico y la escorrentía para grandes tormentas individuales en 24hs de 88mm, 118 y 144mm, que en la zona tienen tiempo de recurrencia (ocurren en promedio cada) 25, 50 y 100 años (Tabla 4). Para estas precipitaciones, el total de agua infiltrada por efecto del laboreo en la Subcuenca Charito varía entre 271 mil y 338 mil metros cúbicos.



Tabla 4: Estimación del efecto del laboreo en la Subcuenca Charito en términos absolutos y relativos en cuanto al caudal pico y a la escorrentía para tormentas de 24 hs de distinta recurrencia.

CAUDAL PICO (m3/seg)				
P 24hs	Recurrencia	Sin Subsulado	Con Subsulado	Variación (%)
88	25	39,7	30,3	9,4 (24%)
118	50	63,1	52,7	10,4 (16%)
144	100	84,2	72,1	12,1 (14%)
ESCORRENTÍA (m3)				
P 24hs	Recurrencia	Sin Subsulado	Con Subsulado	Variación (%)
88	25	1.185.682	914.235	271.447 (23%)
118	50	2.065.048	1.727.269	337.779 (16%)
144	100	2.834.649	2.466.100	368.549 (13%)

A continuación, y repitiendo el análisis anterior para diferentes niveles de precipitación de 24hs construimos una curva de infiltración adicional a causa del laboreo en la Subcuenca Charito o “escorrentía evitada” en función de distintos niveles de precipitación (Figura 9).

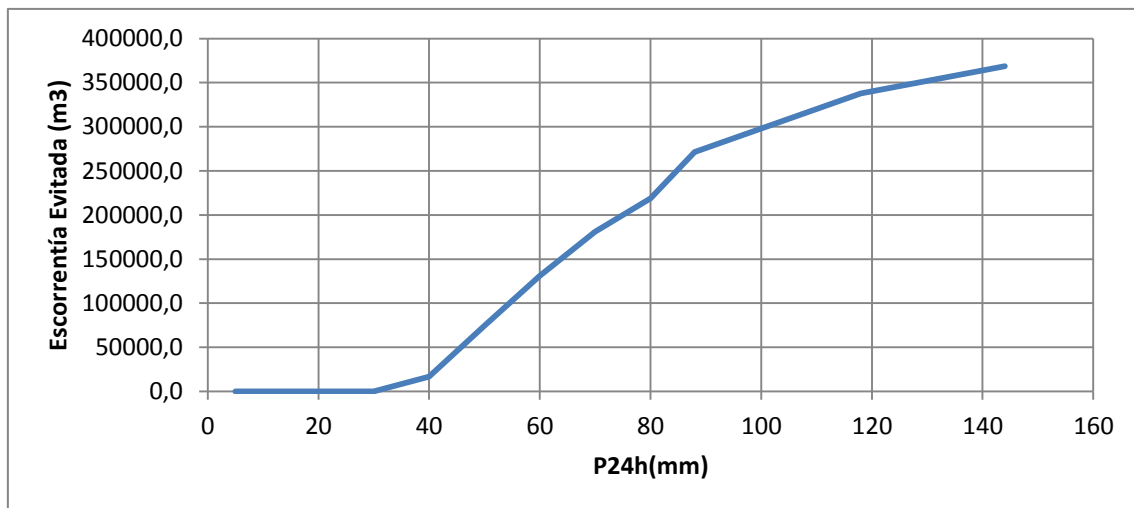


Figura 9: Escorrentía evitada para diferentes precipitaciones de 24 hs (P24h) para la Subcuenca Charito y con el laboreo realizado de 137has. Resultados obtenidos con el modelo GSSHA, WMS.

Esta curva muestra que precipitaciones por debajo de los 30mm no producirían infiltración adicional ya que toda el agua precipitada se infiltraría en situación sin laboreo y que la ganancia relativa es menor a valores mayores de P24h debido a la saturación del suelo y la consecuente disminución de la capacidad de almacenamiento e infiltración. En base a estos resultados es posible calcular la infiltración adicional para años determinados en base a la



colección de precipitaciones de 24 horas caídas durante ese año. Por ejemplo, para el año 2017 según los registros de precipitación registrados en la EEA Chubut del INTA (Trelew) se registraron las precipitaciones mensuales mostradas en la Tabla 5. Asumiendo que esas precipitaciones cayeron en 24 hs se calculó el volumen adicional infiltrado por efecto del laboreo en la Subcuenca Charito, lo cual resultaría en un volumen adicional infiltrado de 459.753m³ (Tabla 5).

Tabla 5: Estimación del efecto del laboreo en la Subcuenca Charito en términos absolutos para un registro de precipitación similar al de 2017.

Mes	Precip (mm)	Volumen adicional infiltrado (m ³)
1	3,2	0
2	10,7	0
3	37,6	12.797
4	66,4	163.084
5	1,8	0
6	93,6	283.829
7	12,6	0
8	7	0
9	2,4	0
10	3,4	0
11	26,6	42
12	0	0
TOTAL	265,3	459.753

El conjunto de los resultados de la modelación de infiltración con y sin laboreo indica que el volumen de agua total adicional infiltrado considerando solamente la infiltración del agua caída directamente sobre las 159ha laboreadas estaría entre 140.000 y 280.000 m³ (Tabla 2). Cuando se considera la escorrentía, la infiltración de agua interceptada y la intensidad específica de los eventos de precipitación en un año típico, la estimación del volumen de agua total adicional infiltrado por efecto de las 137ha laboreadas en la Subcuenca Charito excedería los 400.000m³ (Tabla 5).

Actividad 3. Evaluar el efecto de la labranza sobre la regeneración de la cobertura vegetal

Las zonas laboreadas y sus controles serán monitoreadas regularmente a partir de la finalización de los laboreos en junio de 2019 en base a capacidad de infiltración (infiltrómetros y experimentos con simulador de lluvia), humedad en el suelo y censos de campo y con drones para mapear evolución de la vegetación.



Actividad 4. Evaluar el efecto del laboreo sobre la biodiversidad animal

Se espera que un co-beneficio de las actividades de laboreo, además de la promoción de vegetación, sea el incremento de la abundancia de especies animales que dependan de esa vegetación. Para monitorear los cambios en biodiversidad, se eligió trabajar con artrópodos, y especialmente con insectos coleópteros, ya que los mismos son buenos indicadores de las condiciones del suelo y vegetación y responden más rápidamente a cambios de escala local. Entre los días 23 de enero y 6 de febrero de 2018 se realizó un censo de la fauna de artrópodos que proveerá una línea de base pre-laboreo con la cual contrastar los monitoreos que se han venido realizando desde entonces en las zonas laboreadas y en los controles. Este es un trabajo en marcha para el cual no contamos aún con resultados cuantitativos. El [Anexo 7](#) contiene detalles de esta actividad.

Actividad 5. Evaluar la aplicabilidad y efectividad del laboreo como herramienta a escala regional

Todo el desarrollo del laboreo, incluyendo el armado del arado, su funcionamiento en el campo, el mapeo y emplazamiento de las zonas labradas, el desarrollo de los experimentos con el simulador de lluvia y el resultado final en términos de los efectos verificados del laboreo sobre la infiltración, fue óptimo y en general superó las expectativas previas.

Sin embargo, la efectividad del laboreo para mitigar el tema de la turbiedad en el suministro de agua a la escala de toda la zona productora de sedimentos dependerá no sólo de la perdurabilidad de los efectos del laboreo sobre la infiltración de agua y retención de sedimentos, sino también de la capacidad para aplicar este tratamiento a una escala significativa con respecto a la escala del problema y a un costo que justifique su implementación. Realizamos un análisis primario de la efectividad y aplicabilidad del laboreo al área total del Cuenco Aluvional. Para ello analizamos la ocurrencia espacial de las parcelas más importantes en cuanto a la exportación de sedimentos (Figura 10) según nuestros modelos de exportación de sedimentos (Figura 4). La distribución de producción de sedimentos es sesgada, con pocas parcelas produciendo mucho sedimento. Por ejemplo, el 50% del sedimento exportado se origina en apenas 25km² (apenas un 2,5% de todo el Cuenco Aluvional) y el 65% del sedimento exportado se origina en 55km² (un 5% del Cuenco) (Figura 10). La Figura 11 muestra las parcelas que corresponden a este último escenario, es decir los 55km² donde se produce el 65% exportado desde el Cuenco.

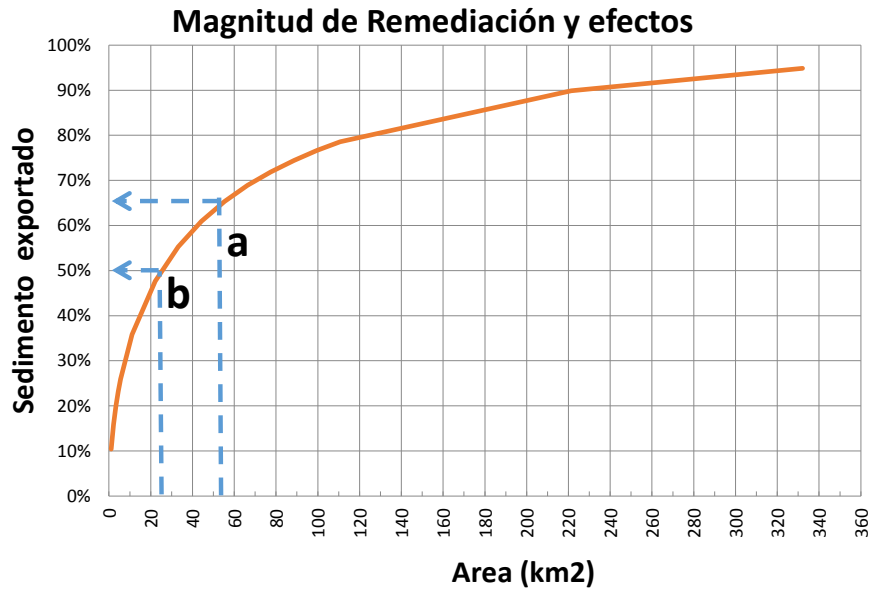


Figura 10: El porcentaje de exportación de sedimentos de la zona de cuencos (1107km²) en función del área en la cual se produce. Por ejemplo, (a) 65% de todo el sedimento exportado se produce en 55km², lo que equivale a un 5% de toda el área; (b) 50% de todo el sedimento exportado se produce en 25km², lo que equivale a un 2,5% de toda el área.

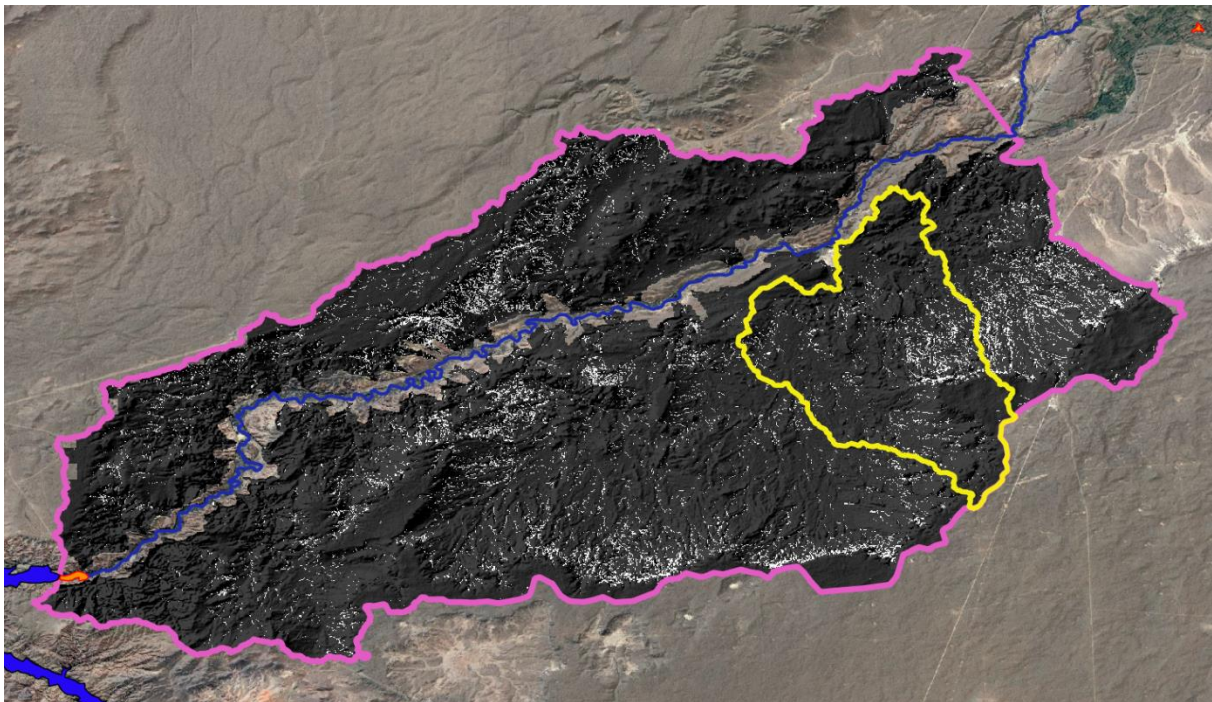


Figura 11: El Cuenco Aluvional Dique Ameghino-Boca Toma y las zonas con más exportación de sedimentos al río: en blanco el 5% (55km²) de toda el cuenco que produce el 65% de todo el sedimento exportado (Figura 10). En amarillo se muestra la Cuenca Armanino.



Si consideramos que en nuestro experimento laboreamos prácticamente 1,6km² en 23 jornadas efectivas de trabajo, laborear áreas significativas de la cuenca (decenas de km) aparece como una tarea factible. Por ejemplo, laborear los 25 km² (2.500ha) con parcelas que producen 50% del sedimento exportado de la cuenca podría realizarse en unas 350 jornadas efectivas de laboreo.

Un análisis integral de este tipo requerirá mejorar el mapa de producción de sedimento en base a los parámetros recogidos en este proyecto y realizar un análisis económico de costos y beneficios de distintos niveles y aplicaciones geográficas de laboreo en toda la zona. Este proyecto ha provisto todos los parámetros necesarios en cuanto a costos y beneficios del laboreo. Las pruebas de infiltración en distintos estratos geológicos identificados brindarán parámetros específicos del comportamiento erosivo de la cuenca. Finalmente, la ocurrencia y registro de nuevos eventos de precipitación brindarán información de enorme valor para calibrar el modelo de exportación de sedimento.

Actividades conexas y proyecciones del proyecto

Actividad 1. Proceso para la creación de un fondo de agua en el Río Chubut

En diciembre de 2018 comenzamos formalmente a realizar el estudio de la factibilidad de un fondo de agua para el Río Chubut, cuyo documento final fue entregado en julio de 2019 y está siendo evaluado por personal técnico de la Alianza Latinoamericana de los Fondos de Agua. Debido a la importancia que las autoridades y el público en general le asignan al problema del sedimento y gracias a los resultados de este proyecto, el tema de remediación de sedimentos aparece como una de las líneas de trabajo más claras en la propuesta del Fondo de Agua del Chubut. La financiación de Danone permitió caracterizar la magnitud del problema, desarrollar una acción específica basada en la infraestructura verde, verificar su efectividad y aplicabilidad a escala de cuenca para aumentar la infiltración, y proveer los elementos básicos para desarrollar un análisis de retorno de la inversión. Sin duda la implementación de un Fondo de Agua permitirá llevar las pruebas de este proyecto a escala de cuenca.

Actividad 2. Creación de un sistema de monitoreo y alarma referido a eventos de turbiedad en el VIRCH

En julio de 2019 presentamos el proyecto y los resultados parciales a la Federación de Cooperativas del Chubut, la cual nuclea a las cooperativas de agua potable de Puerto Madryn, Trelew y Rawson, las tres principales localidades de la cuenca. La presentación fue recibida muy favorablemente por todos los miembros de esta organización que plantearon que comenzáramos a delinear una colaboración en el tema. Uno de los temas específicos planteados fue la necesidad de establecer un sistema de monitoreo de la turbiedad del río que pueda servir como sistema de alerta para las comunidades del Valle Inferior del Río Chubut. A partir de ese primer acuerdo instalamos en forma colaborativa una estación de monitoreo de parámetros del agua y atmosféricos, incluidas lecturas de la turbiedad, en el paraje de Tom Bach, entre las localidades de Dolavon y 28 de Julio. El equipo envía los datos en forma remota cada media hora, y las lecturas pueden visualizarse online en tiempo real⁸. Estas lecturas

⁸ <http://emac.iado-conicet.gob.ar/2019/datosenvivo.php?idestacion=RCTB>



proveen una medida de turbiedad del agua que anticipa en 12 horas las condiciones experimentadas en las tomas de agua de Trelew y Puerto Madryn, permitiendo adaptar el proceso de potabilización, otorgando un nivel de previsibilidad inédito para este ambiente. Esperamos profundizar la colaboración con la instalación de nuevas estaciones de medición aguas arriba de la estación Tom Bach.



Anexo 1. Grupo de Trabajo.

Miguel Pascual	IPEEC-CONICET-CENPAT, Puerto Madryn	Coordinación general y mapeo de servicios ecosistémicos
Andrés Malnero	Depto. Hidráulica, Facultad de Ingeniería Civil, UNPSJB, Trelew.	Hidrología y tareas de laboreo
Gabriel Kaless	Depto. Hidráulica, Facultad de Ingeniería Civil, UNPSJB, Trelew.	Hidrología y dinámica de sedimentos
Jorge Salomone	EEA Chubut, INTA, Trelew	Director EEA Chubut, Representante Institucional
Lucas Díaz	EEA Chubut, INTA, Trelew	Técnicas de laboreo del suelo
Martín García Asorey	IPEEC-CONICET-CENPAT, Puerto Madryn	Mapeo de terreno y cobertura mediante drones y aerofotografía
Silvia Flaherty	IPEEC-CONICET-CENPAT, Puerto Madryn	Sistemas de Información geográfica y análisis de cobertura y uso del suelo
Oscar Frumento	CECIMAR-CONICET-CENPAT, Puerto Madryn	Instalación y manejo de instrumentación meteorológica
Mario Rostagno	IPEEC-CONICET-CENPAT, Puerto Madryn	Ensayos de infiltración con simulador de lluvia
Lina Videla	IPEEC-CONICET-CENPAT, Puerto Madryn	Ensayos de infiltración con simulador de lluvia
María Jesús Chachero	Depto. Hidráulica, Facultad de Ingeniería Civil, UNPSJB, Trelew.	Hidrología
Laura Brandizi	Depto. Hidráulica, Facultad de Ingeniería Civil, UNPSJB, Trelew.	Hidrología y Laboreo
Pablo Bouza	IPEEC-CONICET-CENPAT, Puerto Madryn	Geomorfología, edafología e indicadores del estado del suelo
José Cuitiño	IPGP-CONICET-CENPAT, Puerto Madryn	Geología, sedimentología
Andrés Bilmes	IPGP-CONICET-CENPAT, Puerto Madryn	Geología y geomorfología
Germán Cheli	IPEEC-CONICET-CENPAT, Puerto Madryn	Biodiversidad de Artrópodos en gradientes de disturbio
Diego Nuñez de la Rosa	Área Comunicaciones, CONICET-CENPAT, Puerto Madryn	Prensa y Divulgación
Alejandro Cannizzaro	Área Comunicaciones, CONICET-CENPAT, Puerto Madryn	Prensa y Divulgación
Julio Rua	Área Automotores, CONICET-CENPAT, Puerto Madryn	Apoyo logístico en taller y tareas de campo

Anexo 2. Caracterización de topografía, cobertura del suelo y geomorfología en la Cuenca Armanino.

Para caracterizar la topografía en la cuenca Armanino se utilizó el ALOS Global Digital Surface Model (ALOS World 3D–30m, AW3D30)⁹, que tiene una resolución de pixel de 30m.

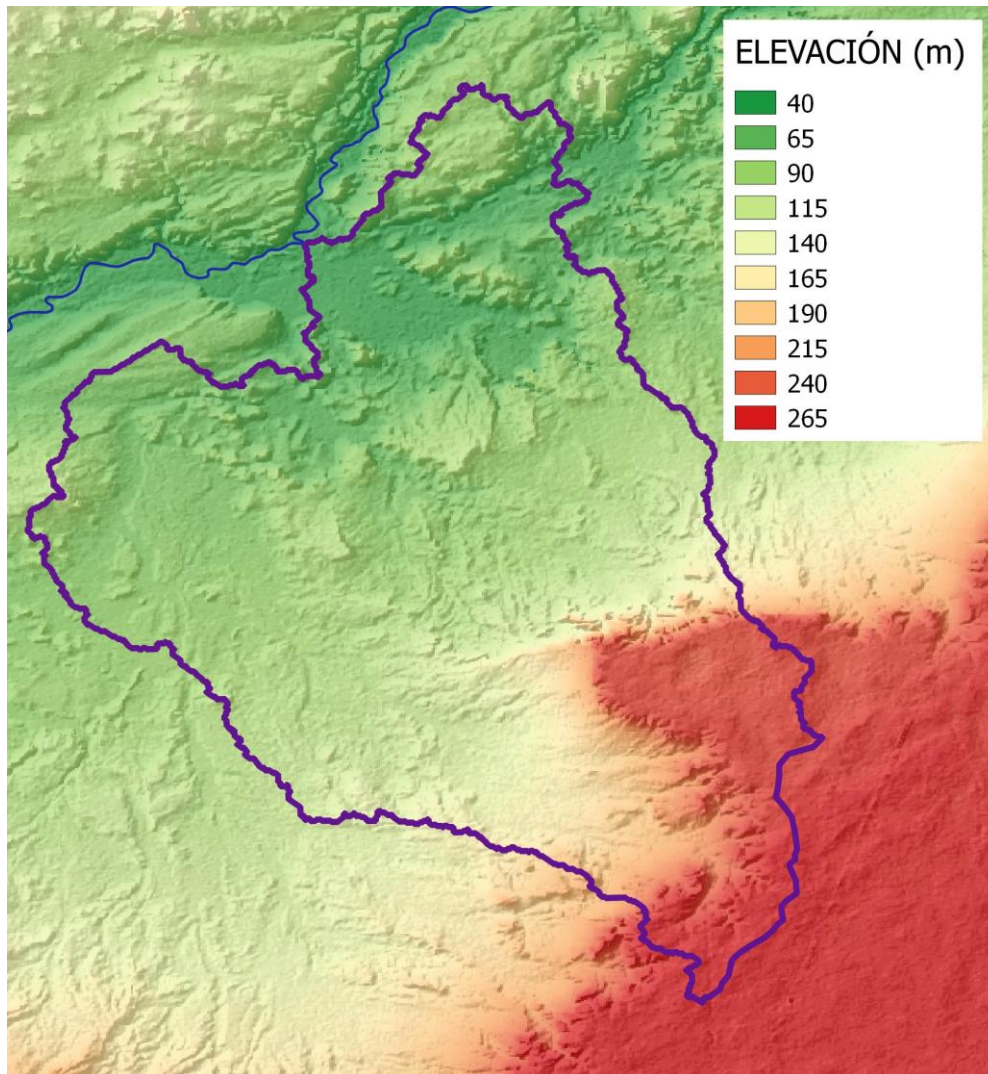


Figura A2.1: Topografía de la Cuenca Armanino derivada del satélite ALOS⁷.

El insumo básico de la caracterización de la cobertura del suelo a escala regional son imágenes satelitales, las cuales deben ser procesadas y calibradas con información a campo para inferir la cobertura (e.g., roca, suelo desnudo, distintas coberturas vegetales) en base a las

⁹ <http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/index.htm>

señales de la imagen a nivel de píxel (valores reflejados por la tierra en distintas longitudes de onda del espectro electromagnético). La capacidad de discernir entre distintas coberturas del suelo a partir de las imágenes y la resolución espacial del resultado dependen del satélite/sensor seleccionado y del método de procesamiento. En este trabajo se utilizaron imágenes de tres satélites diferentes y se aplicó la técnica de clasificación supervisada de verosimilitud máxima. Las clasificaciones obtenidas se muestran en la Figura A2.2.

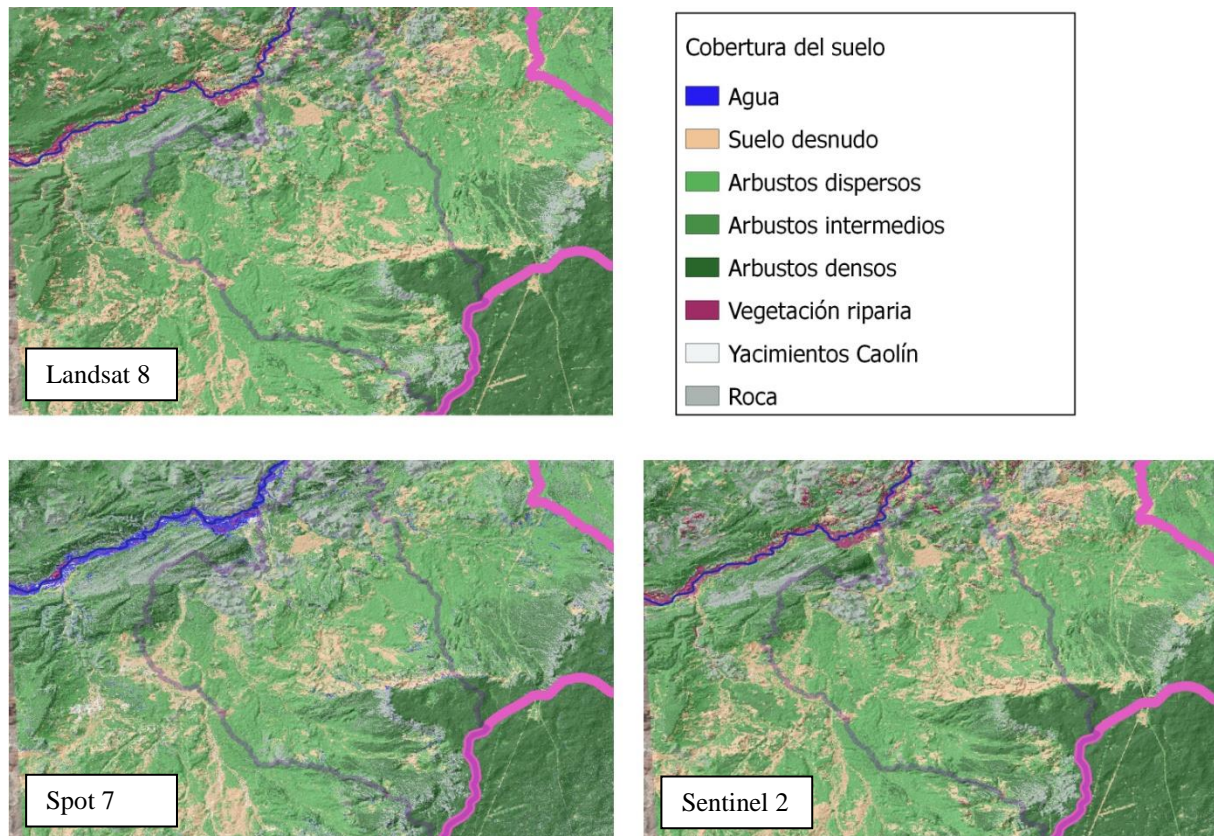


Figura A2.2: Estimación de la cobertura del suelo en la Cuenca Armanino realizada en base a tres fuentes diferentes de imágenes satelitales y aplicando una clasificación supervisada.

La comparación de la clasificación producida a partir de los tres satélites con datos de campo de la cobertura real¹⁰ muestra que las clasificaciones basadas en el sensor Spot 7 fueron las más imprecisas en todas las categorías de cobertura. Por otra parte, las clasificaciones basadas en Sentinel 2 fueron las más precisas en general y particularmente eficientes para clasificar rocas, suelo desnudo y depósito de caolines. Las clasificaciones basadas en Landsat 8 proveyeron mejor discriminación de distintos niveles de cobertura arbustiva. Este resultado permitió desestimar el uso de imágenes de Spot 7 para los propósitos de este proyecto y a

¹⁰ Flaherty, S. & Pascual, M., 2018: Mapeo de uso/cobertura del suelo con imágenes satelitales en el Valle Inferior del Río Chubut: comparación de sensores en un área piloto. Actas de Conferencia de la XII Jornadas Nacionales de Geografía Física, Trelew, Argentina
<https://redargentinadageografiafisica.files.wordpress.com/2018/04/resc3bamenes-xiijngf-2018.pdf>

considerar una combinación de las clasificaciones de Sentinel 2 y Landsat 8 aprovechando las fortalezas de cada uno, lo se está realizando en este momento.

El relevamiento con drone se desarrolló en las dos zonas en rojo en la Figura A2.3 (superior izquierda) de 2,16 km² y 2,20 km² respectivamente. Los productos de estos relevamientos son un mosaico de fotos aéreas a partir de las cuales se generó un ortomosaico de la zona relevada (Figura A2.3 superior derecha) y un mapa de elevación (Figura A2.3 inferior izquierda), ambos de escala centimétrica. Además, gracias a una cámara multiespectral, se generó una estimación de índice verde de escala centimétrica (Figura A2.3 inferior derecha) que permite identificar arbustos y calcular su densidad.

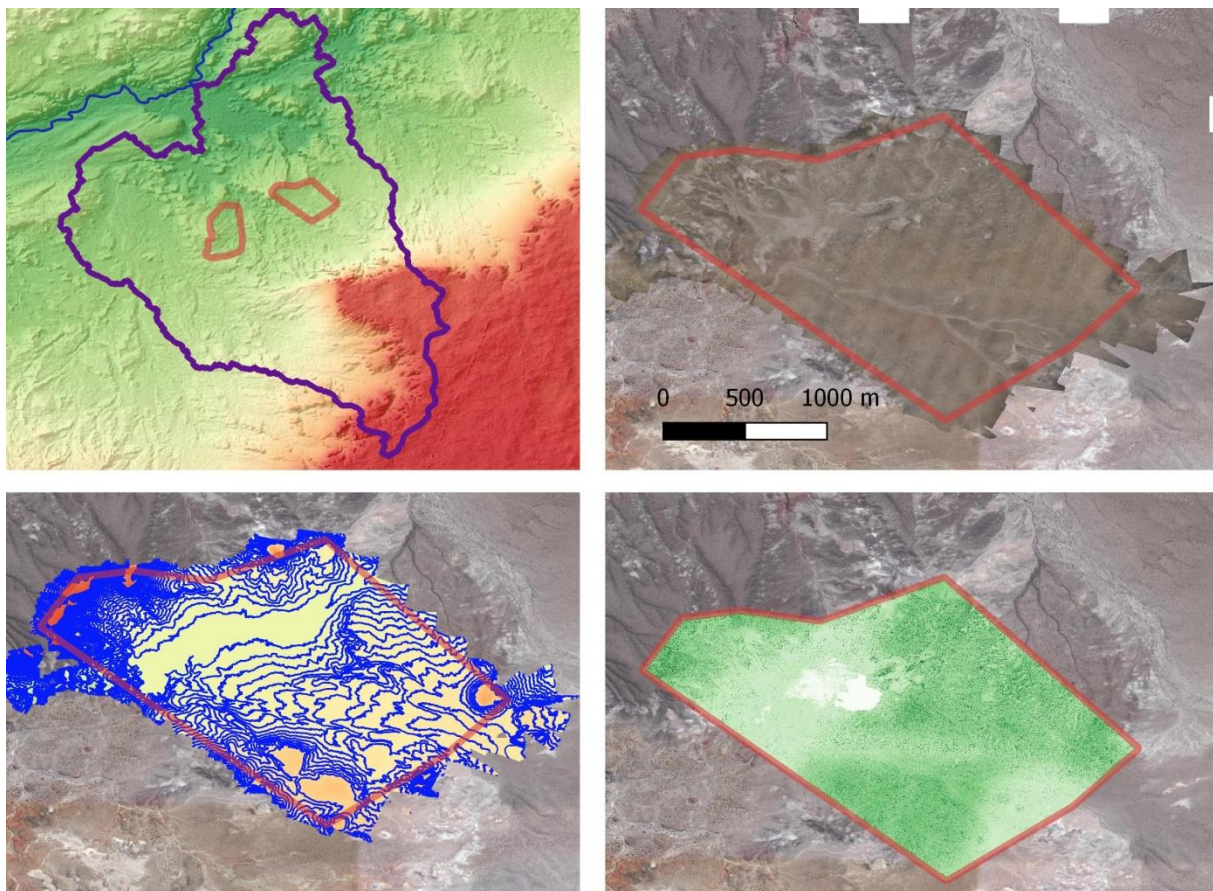


Figura A2.3: Censos del terreno realizados por relevamientos fotográficos con el drone. Superior izquierda: Cuenca Armanino y en rojo las dos zonas relevadas con el drone. Superior derecha: ortomosaico obtenido del procesamiento de las fotos del drone con la imagen de Google Earth de fondo. Inferior izquierda: mapa de elevación y curvas de nivel cada medio metro obtenidas desde las fotos aéreas por estereofotogrametría. Inferior derecha: valores de NDVI obtenidos de cámara multiespectral del drone (Parrot Sequoia). Todos los procesamientos fueron realizados con el software Agisoft.

Estos mapas detallados del drone fueron utilizados para elegir las zonas que fueron posteriormente laboreadas (Objetivo 3) y para diseñar el desarrollo espacial del laboreo en base a las curvas de nivel finamente determinadas (ver Anexo 5).

Por otra parte, se caracterizó la cobertura de la Cuenca Armanino en términos de su geomorfología (Figura A2.4).

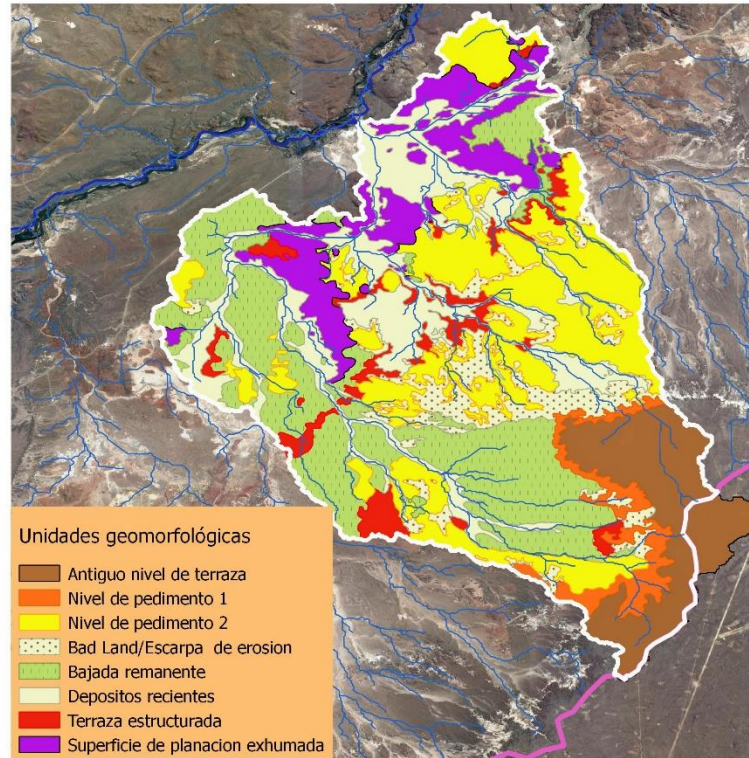


Figura A2.4: Caracterización geomorfológica de la Cuenca Armanino. Se distinguen estratos rocosos duros (Terraza estructurada, Superficie de planación exhumada), estratos de roca expuesta sometida a erosión (Bad Land/Escarpa de erosión), y estratos de depósito de sedimentos de distinto tipo, destacándose para este trabajo los “Depósitos recientes” que consisten en sedimentos más finos sometidos a recirculación más activa.

En base a esta caracterización se identificaron las zonas de la Cuenca Armanino que desde el punto de vista geomorfológico aparecen más relevantes para la producción y transporte de sedimentos (Figura A2.5).

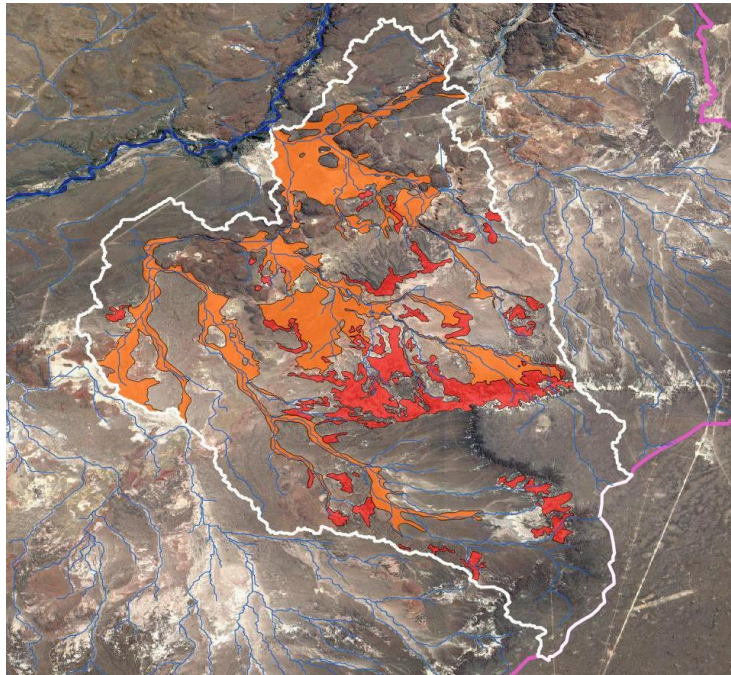


Figura A2.5: Identificación de zonas críticas para la producción y transporte de sedimentos en la Cuenca Armanino en base a la caracterización geomorfológica. En rojo se indican las zonas primarias de producción de sedimentos (correspondientes a “Bad Land/Escarpa de erosión” en Fig A2.4) y en anaranjado los estratos más importantes para el transporte activo de sedimento (correspondientes a “Depósitos recientes” en Fig A2.4).

Este análisis identificó un área núcleo para la producción y transporte de sedimentos (Figura A2.5) de 32km^2 (24% de la cuenca Armanino), de los cuales $10,3\text{ km}^2$ corresponden al área productora primaria de sedimentos (7,8% de la Cuenca Armanino) y $21,7\text{ km}^2$ al área de transporte activo de sedimento (16,4% de la Cuenca Armanino).

Anexo 3. Instrumentación meteorológica.

La micro-red de instrumental meteorológico instalado en la Cuenca Armanino (Figura 5) consiste en:

a) Estación meteorológica base, instalada en el predio de la planta de FAPA (Figura 5). Registro horario de las variables velocidad y dirección del viento a 10 m sobre el nivel del suelo. Temperatura, humedad relativa, presión atmosférica (desarrollo del Laboratorio de Electrónica, SECELEC del CCT CONICET CENPAT) y precipitación en superficie (resolución 0,25 mm). Almacenamiento interno; alimentación externa por medio de panel solar. Asimismo, se registra automáticamente el estado de un sector del cielo cada media hora con una cámara de tipo “time lapse” con el objetivo de disponer, aunque sea parcialmente, del “tiempo presente” (básicamente nubosidad).



Figura A3.1. Estación meteorológica instalada en el predio de la planta de procesamiento de FAPA S.A. (ver Figura 5).

b) Pluviómetros instalados en la cuenca (Figura 5). Estos aparatos registran eventos de precipitación acumulada cada 30 minutos con una resolución de 0,5 mm. Los aparatos mecánicos son de origen japonés y la electrónica (registro en memoria interna) está desarrollada por el SECELEC del CCT CONICET CENPAT.

El equipamiento requiere visitas regulares, preferentemente quincenales, para realizar un control de los equipos instalados: tensión de batería, funcionamiento, limpieza, registro de datos. A dos de los sitios con pluviómetros se accede a pie (aproximadamente a 2 km del lugar en el que se estaciona el vehículo), requiriendo 1,5 a 2 horas, cada visita.



Figura A3.2. Pluviómetro instalado con estación meteorológica y uno de los cuatro pluviómetros instalados en la Cuenca Armanino (ver Figura 5).

Anexo 4. Instrumentación de descarga de agua y sedimentos.

Se instalaron cuatro estaciones para el aforo de caudales y muestreo de sedimentos, una en cada curso principal de la red hidrográfica de la Cuenca Armanino (Figura 5). La estación Armanino se encuentra en el curso homónimo y monitoreará los flujos producidos por toda la cuenca, con punto de síntesis en el Río Chubut. La segunda estación se ubica en el Arroyo Tir Halen, curso efímero que drena la subcuenca oeste. La tercera estación está emplazada en el colector principal de la subcuenca este, el Arroyo Charito. Finalmente se instaló una cuarta estación en el Arroyo Rayün, tributario del anteriormente mencionado curso.

Las estaciones fueron concebidas, diseñadas y construidas por nuestro equipo de trabajo y tienen por finalidad el monitoreo de los niveles hídricos en los arroyos durante eventos de precipitación y la recolección de muestras de agua y sedimentos durante el pasaje de eventos de crecidas. Posteriormente los caudales serán estimados a partir de las mediciones de niveles, utilizando ecuaciones de resistencia al flujo. A fin de reducir las incertidumbres en dichas ecuaciones se seleccionaron tramos rectos, con baja a escasa formas de fondo, con continuidad geológica y baja variabilidad de la vegetación de las márgenes.

Cada estación consta de un tubo de PVC de 175 mm de diámetro con una escala graduada de 0,05 m de intervalo. En la margen se colocó una cámara de tipo “time lapse” que realiza una fotografía cada 5 min, las 24 horas del día. Para los registros nocturnos se ha incluido una lámpara en el extremo superior del tubo que ilumina la regla. La lámpara posee panel solar para la carga de la batería. La cámara fotográfica produce un video diario.



Figura A4.1. Vista de la estación de aforo en el Arroyo Charito. Se observa el tubo de PVC con la escala graduada y en el extremo superior, la lámpara con panel solar. En primer plano se encuentra la cámara fotográfica.

Dentro del tubo de PVC se encuentra el equipo de muestreo de sedimentos. Se instalaron 10 botellas con capacidad de 500 cc. En la tapa de cada botellas se conectaron dos tubos cuya función es la de coleccionar la muestra y permitir la salida de aire durante el llenado. La diferencia de altura en dichos tubos permite controlar el rango de niveles hidrométricos en el

que se realiza el muestreo. Las muestras se toman en los siguientes niveles respecto del fondo del arroyo: 0,05 m; 0,10 m; 0,15 m; 0,20 m; 0,30 m; 0,40 m; 0,50m; 0,60 m; 0,80 m y 1,00 m.



Figura A4.2. Izquierda: Vista del interior de la estación de aforo. Se observan los orificios en las paredes del tubo de PVC, el mástil en el centro del tubo que contiene las botellas colectoras de sedimentos. Derecha: detalle del mástil con las botellas recolectoras de muestras de sedimentos. se parecía el sistema de tubos para el control de las profundidades de muestreo.

Las pruebas de laboratorio indican que el tiempo de llenado es muy rápido con lo que las muestras corresponderán a la fase creciente del hidrograma. Las botellas y los conductos de llenado/vaciado se encuentran fijadas a un mástil metálico que se ubica en el interior del tupo de PVC. Tanto el tubo como el mástil están anclados en el lecho del cauce cuya resistencia ha sido aumentada mediante una mezcla de suelo-cemento.

La transformación de niveles a caudales se realizará a partir de una curva de aforo estimada mediante ecuaciones de resistencia al flujo. Se ha seleccionado el software HEC-RAS desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de EE.UU. La modelación hidráulica requiere de ciertos insumos de campo tales como perfiles transversales que dan cuenta de la geometría del curso, como así también del dato de rugosidad.



Figura A4.4. Relevamiento con GPS Magellan Promark 3 del Arroyo Armanino en un tramo que incluye a la estación de aforo.

Se realizó una serie de actividades topográficas. La primera actividad consistió en materializar y georeferenciar un punto fijo que sirviese de base para posteriores relevamientos y comparaciones. Se colocó una estaca en el acceso al predio de la Caolinera Patagónica (punto fijo FAPA) y se referenció su ubicación con la estación fija GPS ubicada en la Dirección de Catastro de Rawson. Las coordenadas de la estaca son $66^{\circ} 02' 46.03617''W$ - $43^{\circ} 31' 04.52214''S$ con cota elipsoidal 65.188 m. Las coordenadas planas son 3496270.977 (Este); 5181704.735 (Norte) (Proyección plana Gauss Kruger / Posgar 94 / Faja 3).

En cada tramo monitoreado se colocó al menos una estaca fija local referenciada al punto fijo FAPA. Posteriormente se relevaron perfiles transversales tanto aguas arriba como aguas abajo de la estación de aforo. La longitud del tramo relevado fue elegida en campo a fin de garantizar la independencia a las condiciones de borde. En todos los casos no fue menor a 20 veces el ancho del canal.

Anexo 5. Laboreo por el método de keyline.

La técnica aplicada se denomina Keyline, y fue desarrollada en Australia en la década del 40 por P.A. Yeomans. Consiste en la realización de surcos verticales, de profundidad reducida, para el caso se adoptó una profundidad de 20 cm, siguiendo un patrón paralelo, siguiendo las curvas de nivel del terreno, a partir de la “Keyline” o línea clave, con una separación horizontal de 90 cm.

El implemento utilizado para realizar la labor se construyó a partir de un bastidor robusto de un arado de cincel con la estructura necesaria para utilizarlo en el acople de tres puntos del tractor, reformado para lograr dos profundidades de trabajo (20 cm y 40 cm). Los cuerpos de subsolado, marca Agroflox, fueron dispuestos a tresbolillo, y ubicados de forma tal que la distancia entre las líneas descritas por ellos en el terreno fuera de 90 cm. El tractor con el cual fue realizada esta labor fue un Agrinar 150-4, de 150 HP perteneciente a la EEA INTA Chubut. Todo el equipo descrito fue transportado hasta el área de trabajo en un camión Ford Cargo modelo 2007, también propiedad de la EEA INTA Chubut.



Figura A5.1. Equipo utilizado en la tarea de subsolado durante el armado en la EEA Chubut del INTA y en operación en la Cuenca Armanino.

Para determinar la ubicación de la línea clave, fue necesario contar con las curvas de nivel con equidistancia 50 cm, obtenidas mediante procesamiento fotogramétrico de las imágenes registradas por el vuelo del dron (Anexo 2), que permitió obtener un modelo digital de elevaciones de 6 cm de pixel aproximadamente.

El análisis visual de las curvas de nivel permitió identificar, sobre la traza de los cursos temporarios, la zona donde se produce el cambio de concavidad del terreno, indicado por el aumento de la separación de las curvas de nivel.

De esta forma, la curva de nivel a partir de la cual se produce un aumento de la separación se denomina Keyline y el punto de intersección con el curso temporario Keypoint o punto clave.



Figura A5.2: Patrón de surcos generados por el laboreo en el terreno

En estas condiciones la realización de un patrón de surcos verticales paralelos a la Keyline produce una modificación del flujo superficial sobre las laderas; el primer efecto consiste en la intercepción del flujo superficial y la conducción hacia el interior del surco; el segundo efecto es el flujo subsuperficial del agua dentro del surco, originado por el patrón de trazado, que de acuerdo a lo descrito, tiene una suave pendiente desde el curso temporario dirigida hacia las laderas, evitando de esta manera la concentración del flujo en el cauce, redistribuyendo el flujo en la ladera, generando un efecto de aumento de la intercepción, el almacenamiento y la infiltración.



Figura A5.3: Dos vistas aéreas del trabajo de laboreo en la Cuenca Armanino.

La captura de la precipitación origina un aumento de la humedad en el perfil del suelo, que beneficia el aumento de la actividad biológica y la generación de condiciones favorables para el aumento de la cobertura vegetal, disminuyendo la evaporación y prolongando la presencia de humedad durante los periodos secos.

Otro efecto, producido por este tipo de intervenciones, es la disminución del flujo de sedimentos, debido a que al evitar la concentración del flujo, la energía disponible para iniciar el arrastre de los mismos disminuye y el patrón de surcos intercepta las direcciones del flujo sobre las laderas.

Anexo 6. Ensayos de infiltración.

Para el estudio se empleó un simulador de lluvia provisto con un aspersor de cono lleno que produce una lluvia con gotas de menor tamaño al de una lluvia natural de la misma intensidad y por lo tanto, de menor energía¹¹ (Figura A6.1). La lluvia se aplicó durante un período de 30 minutos a una intensidad media de 95 mm x hora. Las parcelas empleadas para determinar el escurrimiento / infiltración y la producción de sedimentos fueron de 1 m² (1,67 m x 0,60 m). Las parcelas fueron ubicadas de a pares en dos zonas tratadas con subsolador y del mismo modo en dos zonas control. Las parcelas del tratamiento 1 (y su respectivo control) se ubicaron en la parte alta de un pedimento de flanco y las del tratamiento 2 (y su respectivo control) en la parte baja. El escurrimiento se recogió en bidones en intervalos de 5 minutos; la tasa de infiltración para cada intervalo de 5 minutos se determinó como la diferencia entre la lluvia aplicada y el escurrimiento recogido.



Figura A6.1. Dos vistas de los experimentos con el simulador de lluvia instalado sobre la zona laboreada. Se utilizan paneles de chapa para proteger al experimento del fuerte viento de la zona y lograr un patrón homogéneo de precipitación sobre las parcelas experimentales. A la derecha se pueden ver las dos parcelas durante el experimento y los tubos colectores de agua y sedimento escurrido.

De acuerdo a lo esperado, el volumen infiltrado en las parcelas ubicadas en las áreas tratadas con el subsolador fue muy superior al registrado en las áreas control (Figura A6.2). En general, en las parcelas ubicadas en las áreas no subsoladas (controles) la tasa de infiltración disminuyó rápidamente hasta alcanzar valores muy bajos a los 10 minutos de iniciada la lluvia. Esto se debería principalmente a la escasa capacidad de retener agua en superficie (baja rugosidad) y a la baja tasa de infiltración de los suelos debido probablemente a la presencia de una costra superficial. La tasa de infiltración al final de la lluvia (30 minutos) se redujo a 12 y 6 mm/h para el suelo de la parte alta y baja del pedimento de flanco, respectivamente). Por el contrario, en las parcelas ubicadas en las zonas tratadas, la tasa de infiltración al final del

¹¹ Rostagno, C.M. y D. Garayzar. 1995. Diseño de un simulador de lluvia para estudios de infiltración y erosión de suelos. Ciencia del Suelo 13: 41-43.

período de 30 minutos fue elevada en ambos sitios (40 y 70 mm/h para la parte alta y baja del pedimento de flanco).

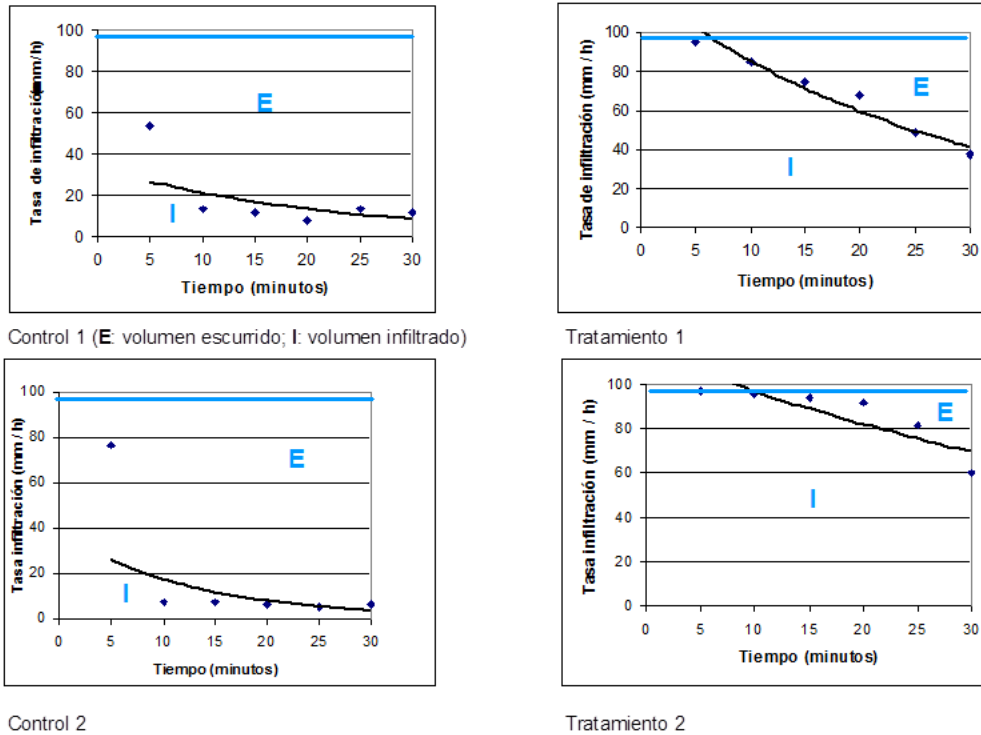


Figura A6.2. Tasa de infiltración a lo largo de los 30 minutos del experimento para suelos tratados con subsolador (paneles a la derecha) y sus respectivos controles (paneles a la izquierda). La línea celeste señala la intensidad media de la lluvia aplicada durante los 30 minutos del ensayo.

El tratamiento de subsolado reduce el escurrimiento de manera significativa, producto de la elevada rugosidad que genera la formación de surcos (elevada capacidad de almacenamiento de agua en superficie) y el aumento en la tasa de infiltración (valores en cuerpo principal del reporte).

Anexo 7. Monitoreo de biodiversidad de artrópodos.

Se estimó la composición y estructura de la comunidad de coleópteros que viven sobre el suelo en el área de estudio previamente al tratamiento de laboreo. Esta información de base se contrastará con estimaciones obtenidas del mismo modo a distintos tiempos post-laboreo, comparándose además la fauna de coleópteros en las zonas laboreadas y no laboreadas.

Para el censo pre-laboreo se instalaron 96 trampas de caída en las dos áreas generales de laboreo (Laboreos en zona este y zona oeste en Figura 5). Dentro de cada área se instalaron 4 unidades experimentales: 2 tratamientos (donde se llevaron a cabo los laboreos) y 2 controles. En cada unidad experimental se dispusieron el día 23 de enero 12 trampas de caída, las cuales fueron retiradas a los 15 días.

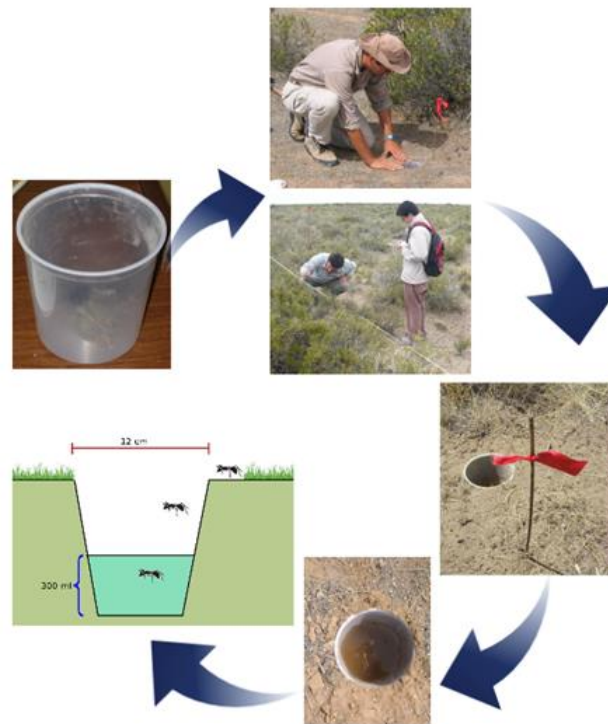


Figura A7.1: Muestreo de coleópteros epigeos. Diagrama mostrando el procedimiento de colocación de las trampas “de caída” (pitfall).

Los coleópteros fueron capturados con trampas de caída (del tipo pitfall) por ser éstas las de mejor desempeño en este tipo de estudios. Las trampas recibieron la configuración óptima para el área de Península Valdés¹². Las mismas estuvieron compuestas por recipientes de

¹² CHELI, GH & JC CORLEY. 2010. Efficient Sampling of Ground-Dwelling Arthropods Using Pitfall Traps in Arid Steppes. *Neotrop Entomol* 39:912–917.

material plástico de un litro de capacidad y 12 cm de diámetro sin embudos ni techos de ningún tipo colocadas con su boca al ras del suelo (Figura A7.1).

De acuerdo con lo sugerido por estos autores, para fijar y preservar adecuadamente el material entomológico colectado, se utilizó a modo de fluido conservante y fijador 0,3 litros de etilenglicol al 30% en cada trampa. Las trampas fueron dejadas activas en el campo durante 15 días. Luego la totalidad del material entomológico colectado fue fijado y preservado en alcohol 70%.

La separación, determinación y cuantificación de los ejemplares se está realizando actualmente en laboratorio utilizando lupas binoculares, claves taxonómicas y consultando a especialistas taxónomos (Figura A7.2). Todos los individuos colectados serán contados y determinados a nivel de familia y especie y serán depositados en la colección Entomológica del IPEEC-CONICET.

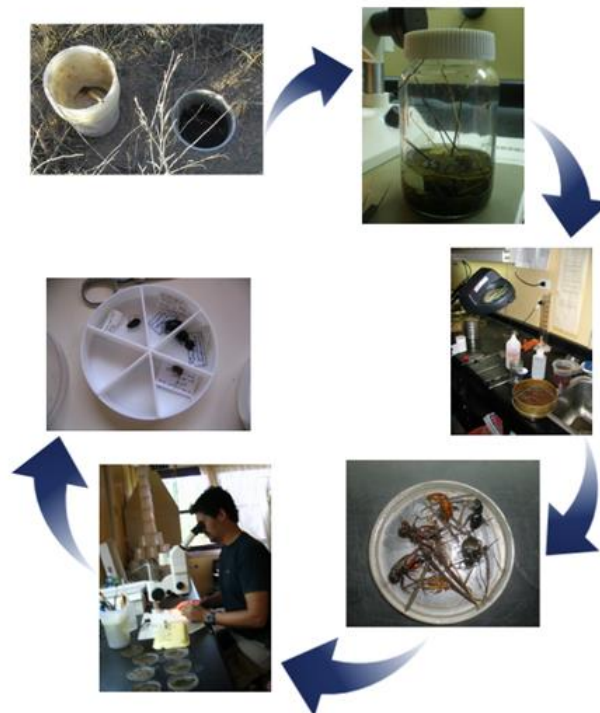


Figura A7.2: Diagrama indicando el procesamiento en laboratorio del material capturado con las trampas de caída, desde la toma de muestra hasta la determinación taxonómica.

Como principal resultado preliminar se destaca que las especies de coleópteros más abundantes en el área son las pertenecientes a la familia Tenebrionidae. Entre ellas:



Subfamilia	Tribu	Especie
Pimeliinae	Nycteliini	<i>Epipedonota cristallisata</i>
Pimeliinae	Nycteliini	<i>Mitragenius araneiformis</i>
Pimeliinae	Nycteliini	<i>Nyctelia circumundata</i>
Pimeliinae	Nycteliini	<i>Nyctelia dorsata</i>
Pimeliinae	Nycteliini	<i>Nyctelia sp1</i>
Pimeliinae	Nycteliini	<i>Patagonogenius sp</i>
Pimeliinae	Nycteliini	<i>Psectrascelis sulcicollis</i>
Pimeliinae	Praocini	<i>Praocis (Hemipraocis) bergi</i>
Tenebrioninae	Scotobiini	<i>Emmalodera crenaticostata crenaticostata</i>

Está previsto entre finales de la próxima primavera (2018) y el próximo verano (2019) efectuar un muestreo post laboreo para evaluar cambios ambientales atribuibles al mismo.