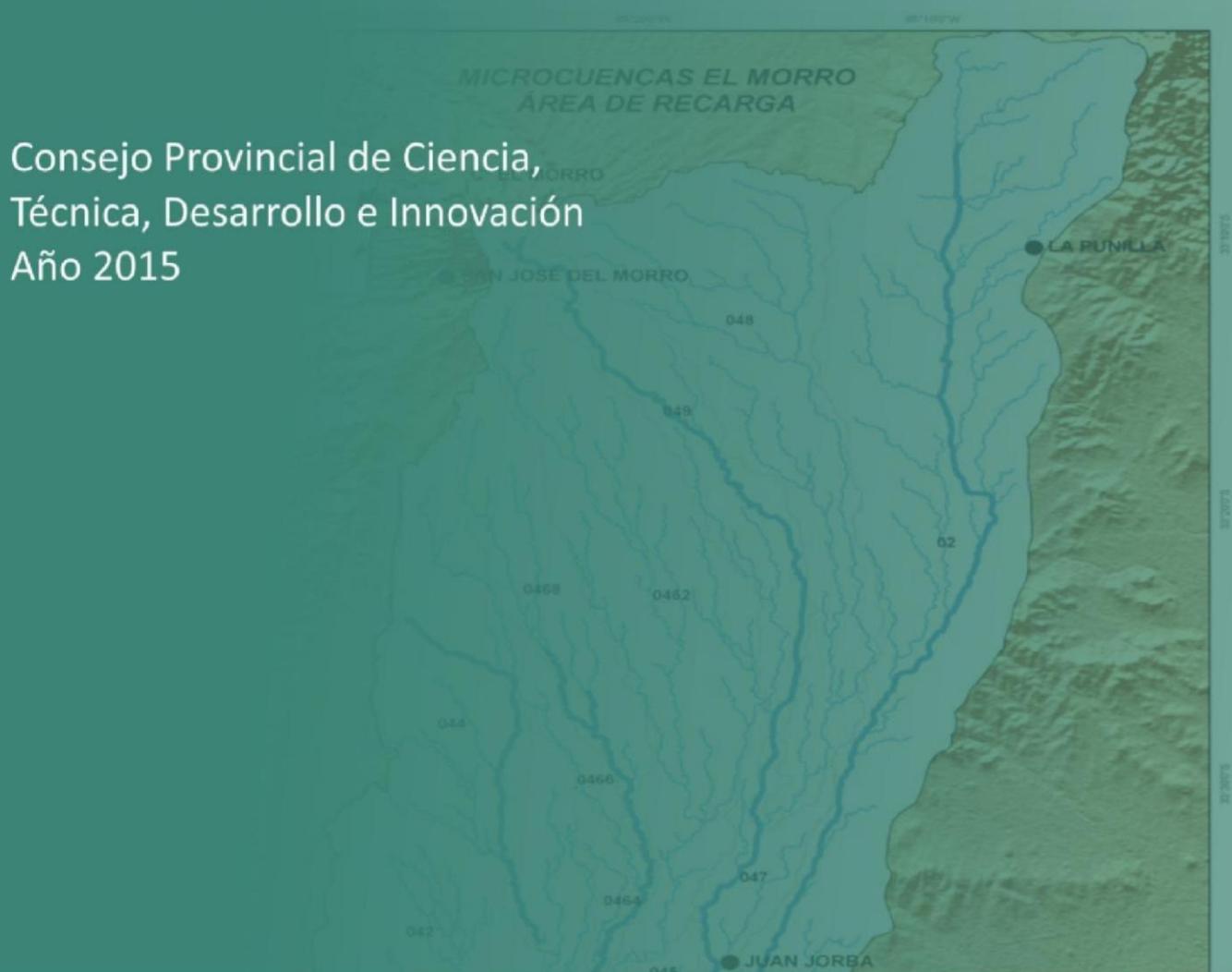


Nuevos Cursos de Agua en la Cuenca de El Morro

Descripción del fenómeno y pautas para su gestión

Consejo Provincial de Ciencia,
Técnica, Desarrollo e Innovación
Año 2015



Comisión de Trabajo sobre la Cuenca de El Morro



GOBIERNO
DE LA PROVINCIA
DE SAN LUIS

GOBERNADOR
POGGI

GOBIERNO
DE LA PROVINCIA
DE SAN LUIS

CONICET



UNSL



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación

I M A S L

LOS NUEVOS CURSOS DE AGUA EN LA CUENCA DE EL MORRO: DESCRIPCION DEL PROCESO Y PAUTAS PARA SU GESTION

Grupo de Estudios Ambientales-IMASL, CONICET: Jobbágy EG, Nosetto MD INTA

San Luis: Bernasconi HO, Colazo JC, Galvan MJ, Mercau JL, Saenz CA

Ministerio del Campo del Gobierno de la Provincia de San Luis: Colazo ER, Larrusse CE, Marchi AA

Universidad Nacional de San Luis: Barbosa OA, Giaccardi A, Hellmers MM, Martínez Alvarez D Consultor externo: Alfonsina Tripaldi - UBA

Resumen Ejecutivo

La aparición de nuevos cursos de agua en la cuenca de El Morro (San Luis) está generando una serie de impactos negativos en la región y presenta serias amenazas a futuro, lo que plantea la urgente necesidad de un mejor entendimiento de este proceso a fin de minimizar los daños. Se presenta en este documento una síntesis del fenómeno y sus posibles causas, los impactos actuales y amenazas potenciales, y se propone una serie de acciones de adaptación y mitigación. El proceso de formación de nuevos ríos involucra una serie de cambios en el transporte de agua, suelos, sedimentos y sales. El fenómeno involucra fundamentalmente un ascenso progresivo de los niveles freáticos, generando pequeñas áreas de bañados a partir de las cuales se produce en algunos casos un colapso que determina el origen de un nuevo curso de agua. La causa principal de este proceso es un cambio en el balance hídrico, en el cual los nuevos excesos hídricos serían producto de un aumento en las precipitaciones y una disminución de las pérdidas evapotranspirativas, producto de los cambios de cobertura vegetal en la cuenca. Es importante tener en cuenta también que la configuración geológica y geomorfológica de la cuenca favorece los ascensos freáticos y la erosión. Los impactos ya documentados asociados a este fenómeno son variados y de diversa magnitud e incluyen impactos puntuales (i.e. problema local y acotado espacialmente, por ej. obstrucción de una ruta) y difusos (i.e. con mayor superficie afectada, por ej. anegamiento por ascenso de napas). El daño de las obras viales emerge actualmente como el impacto más apremiante y como una de las amenazas más serias, dado que la parte baja de la cuenca es atravesada por dos rutas nacionales (RN 7 y RN 8) que en conjunto resultan cruciales creando el principal corredor vial este-oeste del país y uno de los más importantes del continente. Los nuevos excesos hídricos que actualmente experimenta la cuenca conducen hacia una nueva condición de equilibrio hidrológico, que todavía no ha sido alcanzado, por lo que todas las acciones de adaptación y mitigación deberían adaptarse a esta evolución. La necesidad más inmediata consiste en mapear las áreas de mayor peligrosidad de (i) colapsos y apertura de nuevos cauces, (ii) extensión y profundización de los ya existentes, (iii) sedimentación y despliegue de nuevos aluviones, (iv) cambios de las trayectorias de los cursos en la cuenca baja. En el mediano plazo es recomendable desarrollar mapeos de peligrosidad apoyados en una representación hidrológica de la cuenca más explícita. Dentro de las acciones de mitigación se plantea la necesidad de un ordenamiento hidrogeológico y territorial a fin de manejar el balance hídrico de la cuenca. El ordenamiento hidrogeológico debería buscar favorecer la evacuación de manera ordenada de los excesos hídricos y el manejo correcto de la carga de sedimentos, y el ordenamiento territorial debe apuntar a maximizar las salidas evapotranspirativas de la cuenca. Ambos

procesos, y fundamentalmente el primero, deberían estar fundamentados en un detallado modelo hidrológico previo. Estas acciones de mitigación presentan incertidumbres respecto a su efectividad, detalles de implementación y costos, por lo que resulta fundamental implementar un plan de monitoreo a fin de evaluar su eficacia, el cual también permitirá anticipar en el corto plazo situaciones críticas y mejorar en el mediano plazo el entendimiento del sistema.

1. Síntesis sobre el fenómeno y sus causas

1.1. Ubicación geográfica del fenómeno

La región objeto del presente informe comprende el sector centro-oriental de la provincia de San Luis, situada íntegramente en el Departamento Gral. Pedernera, siendo su extensión de aproximadamente 2600 km², abarcando un área delimitada entre las Sierras de El Morro y del Portezuelo al norte, Yulto al oeste y Comechingones al este. Todos los nuevos cursos de agua drenan hacia el sudeste en dirección al río Quinto (Figura 1).

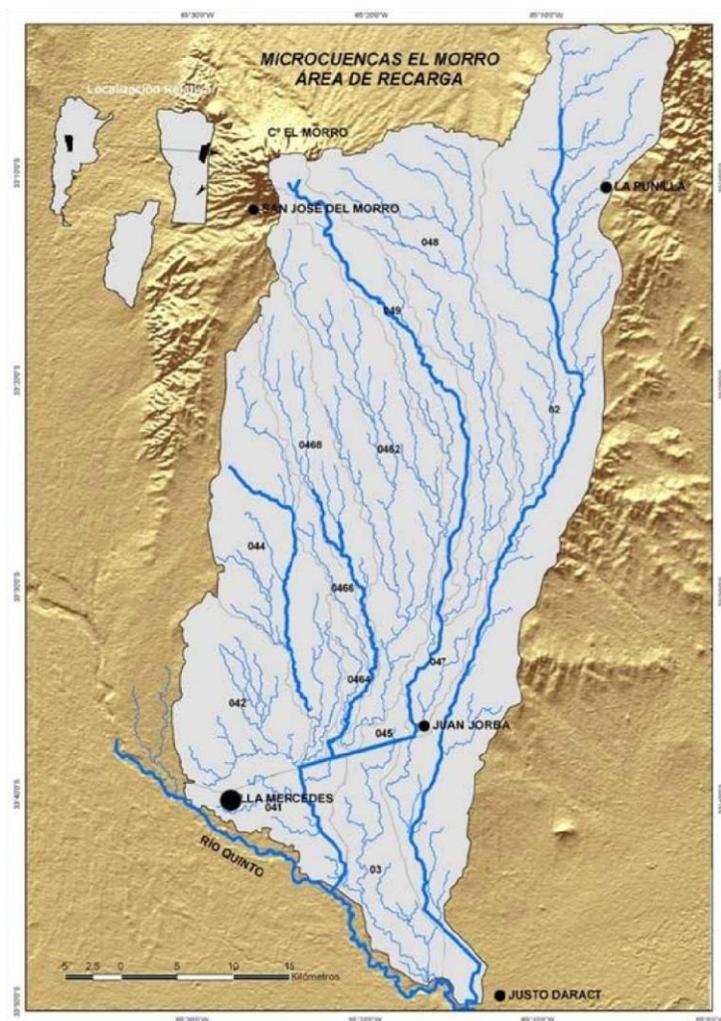


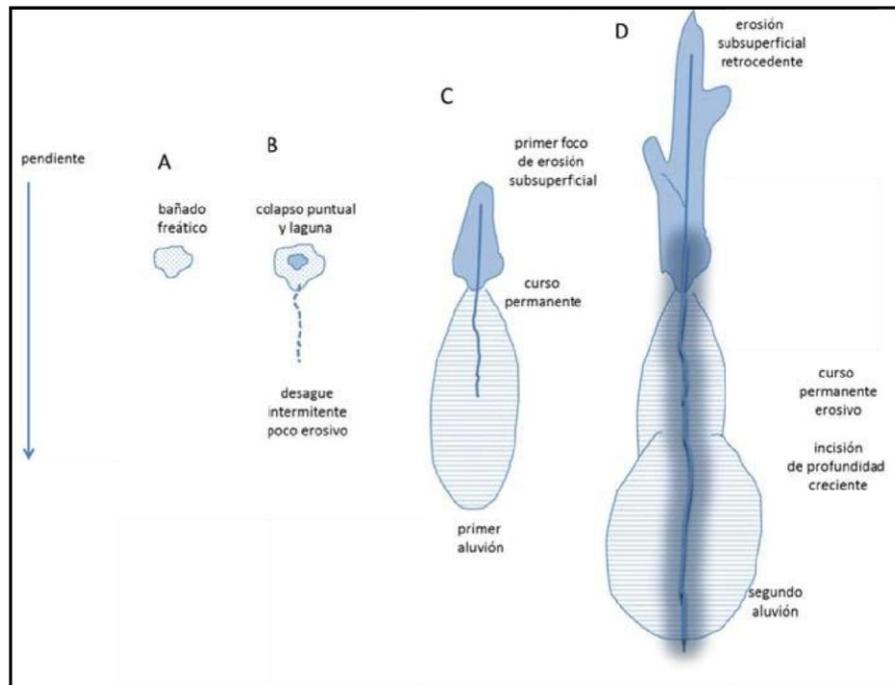
Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca de El Morro y sus microcuencas. El mapa indica la presencia de cauces actuales (líneas azules gruesas) y potenciales (líneas azules finas) según la topografía del terreno. Antes del inicio del proceso de formación de nuevos cauces, el único curso existente era el correspondiente al río Quinto en el extremo sur de la cuenca y algunos segmentos muy cortos de arroyos en la cuenca alta en las cercanías de la cumbre de El Morro. Los números dentro del mapa indican el código de las microcuencas, 02 (del Zanjón Negro), 044 (arroyo El Quebrachal), 046 (río Nuevo), 047-49 (arroyo La Guardia).

1.2. Descripción del fenómeno

El fenómeno de aparición de nuevos cursos de agua en la cuenca de El Morro involucra una serie de procesos de cambio en el transporte de agua, suelos, sedimentos y sales que tienen distintas velocidades de ocurrencia y que se vinculan entre sí. En primer lugar se plantean cuáles son las manifestaciones visibles de estos procesos.

La primera manifestación notable es la erosión, que involucra dos formas contrastantes de transporte de material sólido. El punto inicial de formación de nuevos cursos es un colapso del terreno (Figura 2), creciendo pendiente arriba la **erosión subsuperficial**. Este tipo de transporte de sedimentos involucra el movimiento de determinado espesor de suelo profundo sin que la superficie experimente remoción. La misma colapsa al perder el sustento de la capa más profunda de material que es movilizaba. Como resultado se extienden pendiente arriba desde el punto inicial de colapso, pequeños valles que muchas veces tienen escalones y que a veces crecen en lóbulos ramificados lateralmente en forma de cárcavas. Es importante destacar que este tipo de erosión presenta pocas manifestaciones previas en superficie y que constituye una forma poco común de transporte de sedimentos.

Figura 2. Esquema que ilustra la evolución de un nuevo curso en el paisaje de la cuenca de la cuenca de El Morro. A – En elevaciones intermedias de la cuenca aparecen zonas de bañados o húmedas asociadas a niveles freáticos muy cercanos a la superficie. B – El bañado crece y en su centro se produce colapso del terreno y aparecen espejos de agua o lagunas pequeñas, comienza a haber un desagüe que puede ser temporario, de breve recorrido y mínima fuerza erosiva. C – Se produce el primer episodio de erosión subsuperficial,



profundizándose la zona ocupada previamente por el bañado. De esta zona surge agua freática a la superficie en forma permanente. La misma circula por el embanque (aluvión) de material depositado aguas abajo. El curso de agua infiltra sin llegar a unirse a otro. D – Nuevos episodios de erosión subsuperficial mantienen un frente que avanza pendiente arriba y se ramifica. El curso permanente incrementa su caudal y profundiza el cauce, erosionando en forma superficial la zona de su nacimiento inicial y creando incisiones que descienden más allá del explayamiento original; se generan aguas abajo nuevas áreas de depósito de sedimentos. Eventualmente este curso se une a otros que tuvieron un origen similar o alcanza el cauce del río Quinto.

Por otra parte, aguas debajo del punto de colapso se acumulan los sedimentos removidos, formándose áreas de depósitos en forma de explayamientos o aluviones. En este caso la masa de sedimento avanza, aun por terrenos con monte, dejando un manto de espesor variable (pocos centímetros a más de un metro) distribuido en un área mucho mayor a la que se erosionó subsuperficialmente (allí el área removida es menor, pero el espesor mayor, Figura 2). A medida que el proceso avanza a partir del punto inicial de formación, crecen las áreas de erosión subsuperficial y las áreas de depósitos de sedimentos y corre agua en forma permanente. Este flujo de agua comienza un proceso de **erosión superficial** típico, erosionando los sedimentos que anteriormente había depositado y movilizándolos hacia posiciones más bajas. Se forman incisiones, algunas muy profundas (cárcavas), a lo largo de las áreas de depósito de sedimentos que muchas veces avanzan más allá de los mismos, pendiente abajo. A medida que la erosión avanza en ambos sentidos, pendiente arriba en forma subsuperficial y pendiente abajo en forma superficial, la profundidad de las incisiones o cauces aumenta. Estos episodios de expansión horizontal y vertical suelen ser abruptos y coinciden con períodos de lluvias intensas, sin que sean necesariamente excepcionales en el registro histórico.

En la actualidad estas zonas de erosión superficial están convergiendo y varios cursos independientes se unen generando una red de escurrimiento de aspecto “dendrítico”. Es importante destacar que los nuevos cursos se forman a partir de puntos en los que un área históricamente “seca” sin manifestaciones de vertientes o agua en superficie comienza a mostrar señales de humedad

creciente. Se forman bañados o simplemente se detecta pérdida de piso por presencia de niveles freáticos muy cercanos a la superficie. El nivel de humedad y el área de estos bañados o focos crecen. En algunos de ellos se forman los **colapsos** que dan inicio al proceso descrito hasta aquí (Figura 2). **Un aspecto notable de los nuevos cursos que se forman en la cuenca baja, producto de la erosión superficial, es la poco predecible e inestable trayectoria que presentan.** Mientras que en la cuenca media los cauces siguen líneas de vaguada definidas (en muchos casos paleocauces), en la cuenca baja la escasa pendiente lleva a que los cursos de agua sean fácilmente desviados por barreras antrópicas (rutas, canales elevados, etc.) y por los mismos aluviones que ellos generan.

Desde el punto de vista hídrico lo que se observa es un ascenso de los niveles freáticos generalizado en la región, que avanzó progresivamente en las últimas décadas. Más recientemente se suma la aparición y expansión de las áreas de bañado o zonas húmedas que son las que en algunos casos colapsan y dan origen a los nuevos cursos. A partir del proceso erosivo que se dispara tras estos colapsos, los cauces comienzan a transportar agua y es importante destacar que este nuevo flujo superficial es permanente, aún durante la estación invernal seca. Los cursos fluyen a partir de la zona de erosión subsuperficial y sus “nacientes” (donde el curso gana agua de la freática) retroceden con el avance de la erosión pendiente arriba. Por otra parte, estos cursos infiltran (el curso entrega agua a la freática) en las zonas de explayamiento al principio del proceso, pero a medida que este avanza, el flujo atraviesa estas zonas y los cursos se infiltran más abajo en el paisaje, llegando con el tiempo en varios casos a converger al río Quinto. En general, se observa que con la maduración de estos cursos y su progresiva profundización los segmentos que ganan agua del nivel freático se expanden y las zonas de pérdida de agua hacia estos se reducen. Se han observado depresiones del nivel freático relativamente veloces tras la apertura de los nuevos cauces, que estarían actuando como sistemas espontáneos de drenaje. Las aguas de estos cursos de agua son dulces o levemente salobres en las nacientes pero se vuelven más salinas hacia el cauce medio y bajo, alcanzando niveles definitivamente salobres. **Es importante destacar que el proceso descrito no muestra señales de estabilización observándose que la densidad de drenaje (longitud de nuevos cursos por unidad de superficie) ha mantenido un crecimiento exponencial en las últimas tres décadas, y que hasta el presente no ha cambiado su tendencia.**

Es útil reconocer tres secciones altitudinales de la cuenca; alta, media y baja; con distintas manifestaciones del proceso y problemáticas contrastantes. La cuenca alta, con pendientes altas, es la que muestra menos cambios visibles en la superficie y es la única sección en la que la presencia de agua superficial incluyendo vertientes, data de antes del inicio de la formación de nuevos cauces. La cuenca media, aloja la zona en la que decrece la pendiente y donde se ubica una falla geológica (mencionada más adelante). Aquí los colapsos y la erosión subsuperficial tienen lugar; el inicio de los cursos que se expanden en dirección ascendente y descendente parte de esta zona. Finalmente, en la cuenca baja las pendientes son menores y allí la erosión es superficial y se producen los aluviones y la sedimentación más importante (Figura 3).



Figura 3. a – b) avance de bañados, c – d) formación de cursos permanentes y erosión, e – f) sedimentación de materiales por aluvión.

1.3. Planteo de los procesos y causas posibles

La aparición de nuevos cursos de agua es un fenómeno reciente en la región, sin antecedentes en los últimos siglos. Sin embargo, los estratos sedimentarios más profundos muestran que en el pasado, antes de que se depositen los sedimentos que conforman la superficie actual, existió una red de

drenaje activa (paleocauces). Esta red fue sepultada por sedimentos más modernos que forman los suelos actuales.

El proceso de formación de nuevos cursos de agua puede ser explicado por una serie de factores concurrentes que incluyen condiciones predisponentes (estas explican por qué el proceso ocurre en esta región) y factores desencadenantes (estos explican por qué ocurren en la actualidad). Entre las condiciones predisponentes se encuentran la configuración geológica y geomorfológica de la cuenca que combina un basamento de roca de baja permeabilidad sobre el que se depositaron sedimentos transportados por el viento y el agua primero, y recientemente por el viento predominantemente. Esta configuración determina que exista un manto de alta permeabilidad que tiene poca estabilidad ante la acción erosiva del agua, apoyado sobre otro de baja permeabilidad que alberga una red de paleocauces, apoyado a su vez sobre el basamento rocoso impermeable. Si bien el paisaje superficial se mantuvo estable por al menos varios siglos, un factor desencadenante, la acumulación de excesos hídricos en el sistema de aguas subterráneas, ha disparado los procesos de erosión a los que este tipo de configuración es especialmente susceptible. La baja potencia o espesor de los sedimentos proporciona poca capacidad de regulación hidráulica al paisaje y lo vuelve más susceptible a que los niveles freáticos se acerquen a la superficie. La aparición de las zonas de colapso y afloramiento freático a elevaciones intermedias de la cuenca posiblemente responde a la presencia de una falla geológica de sentido transversal a la pendiente regional que genera una discontinuidad en el plano del basamento rocoso (tipo escalón).

Cabe preguntarse por qué, a pesar de la vulnerabilidad a la erosión subsuperficial del paisaje, el mismo se ha mantenido estable al menos por siglos para experimentar una erosión acelerada recién en la actualidad. En este sentido es importante reconocer que los excesos hídricos son producto de la diferencia entre los ingresos de agua desde la superficie de la cuenca (precipitaciones) y los egresos en forma evaporativa dictados por la interacción entre la demanda física de vapor de la atmósfera y la cubierta vegetal capaz de abastecerla por transpiración (agua que circula desde el suelo a las raíces y de esta a las hojas) o por evaporación directa (agua que se pierde directamente desde la superficie del suelo cuando esta húmedo). Esto implica que los excesos hídricos que desencadenan el proceso erosivo en la actualidad pueden ser producto de mayores precipitaciones y/o menores tasas de evapotranspiración. La red de paleocauces del paisaje sepultado indica que los excesos hídricos fueron comunes hace miles de años en la región, sin embargo, desde que se depositó el nuevo sedimento no se han formado nuevos cauces hasta la actualidad en que se dispara el proceso. Por otra parte, **el análisis de los perfiles de suelo y sedimento bajo monte indica que en la parte media y baja de cuenca, la freática no ha recibido flujos de agua desde la superficie por miles de años.**

El balance hídrico positivo necesario para desencadenar los procesos erosivos es posiblemente producto de la combinación de períodos lluviosos extensos (en el último siglo se incrementó la precipitación media anual en unos 150 mm), con cubiertas vegetales que hacen un consumo menos exhaustivo del agua de lo que ha sostenido la vegetación natural de la región anteriormente. En el

pasado pre-agrícola de la región, en la mayor parte de la cuenca la totalidad de las lluvias eran evapotranspiradas y los niveles freáticos se mantenían profundos, sosteniendo un flujo subterráneo hacia el final de la cuenca en el río Quinto, muy bajo. Esa condición pudo haberse mantenido aún bajo períodos lluviosos durante los últimos miles de años gracias a la capacidad de consumir exhaustivamente el agua del suelo que tiene la vegetación natural, activa la mayor parte del año y capaz de extraer agua a gran profundidad con raíces que comúnmente exceden los 5 metros de profundidad. La cubierta agrícola alteró este balance. Vegetación anual, raíces menos profundas, períodos largos de barbecho en los que se busca acumular agua en el suelo, favorecieron el drenaje profundo y la recarga freática, generando ascensos de nivel y flujos subterráneos más veloces. Posiblemente picos de recarga freática esperables en meses lluviosos, superpuestos a una tendencia de largo plazo de ascensos freáticos sostenidos son los que desencadenaron repetidamente colapsos y surgimiento de nuevos cursos. Si bien se han asociado los episodios de apertura de nuevos cauces y en general el proceso de ascensos freáticos a la ocurrencia de sismos en la región o aún, en zonas más distantes como es el área cordillerana, hasta el presente el análisis de los registros sísmicos históricos incluyendo intensidad, distancia a la cuenca y profundidad del epicentro, no muestran un correlato obvio con la formación de cauces. Es posible encontrar épocas de fuerte actividad sísmica previas al inicio de la apertura de cauces y a la vez, apertura de cauces en épocas en la que no se registra una actividad sísmica excepcional.

2. Impactos y amenazas

Los nuevos cursos de agua, y en general los excesos hídricos, de la cuenca de El Morro están generando una gran diversidad de impactos de variada magnitud. Los mismos se pueden categorizar en: a) impactos puntuales, los cuales se presentan como un problema local y acotado espacialmente (e.g. destrucción de un puente) y b) impactos difusos, los cuales involucran una mayor superficie afectada (e.g. ascenso de freática y anegamientos). Esta categorización resulta válida al momento de orientar las acciones para mitigar/adaptarse a estos impactos, como así también para identificar los sectores de la sociedad más afectadas por los mismos o expuestos a este riesgo. De la revisión de impactos documentados para la cuenca (detallados más adelante), la afectación de las obras viales (i.e. puentes, rutas, caminos vecinales) emerge como lo más apremiante. Cabe destacar que la parte baja de la cuenca, la cual resulta la más afectada por las nuevas condiciones hidrológicas, es atravesada por dos rutas nacionales (i.e. RN7 y RN8) que en conjunto resultan cruciales creando el principal corredor vial este-oeste del país y uno de los más importantes del continente. La alta vulnerabilidad a una potencial afectación de ambos corredores viales trasciende la esfera provincial. Dentro de los impactos difusos se destacan el anegamiento y ascenso generalizado de la freática (generalmente salobres) en las partes más bajas de la cuenca y el continuo desarrollo de cárcavas en la parte media y alta de las cuencas, lo que genera una gran diversidad de trastornos a los productores y pobladores locales.

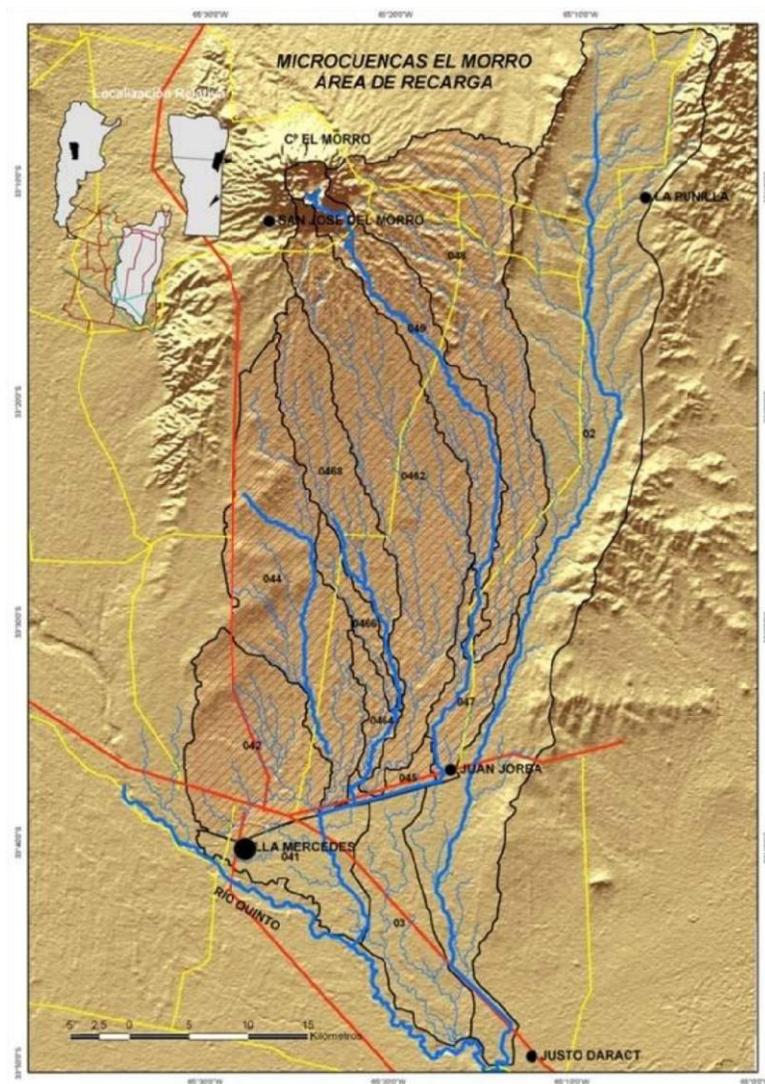


Figura 4. Mapa de la cuenca indicando la traza de rutas nacionales (rojo) y provinciales (amarillo)

2.1. Impactos

Se describen a continuación los impactos documentados en las microcuencas de El Morro. Se presentan las microcuencas en sentido Oeste-Este. **a- Microcuenca del arroyo El Quebrachal**

Impactos puntuales

- 1- Arroyo El Quebrachal y camino Las overas: Importantes precipitaciones ocurridas a fines del año 2009 cortaron la calle vecinal Las Overas. El arroyo cruza la mencionada calle a la altura del campo del Sr. Raúl Rodríguez, impidiendo el tránsito entre la Autopista 55 (A 55) y la ruta

provincial 33 (RP 33). Otros caminos vecinales de la zona también se encuentran cortados por el mencionado arroyo.

- 2- Arroyo El Quebrachal y RP 33: El arroyo ha destruido la calzada y provocado una erosión severa. Ante eventos de fuertes lluvias y deficiente limpieza de las alcantarillas, el flujo de agua pasa por encima de la calzada de la ruta, interrumpiendo el tránsito y aislando a los productores y lugareños de la zona. Para evitar que avance sobre el casco de un establecimiento agropecuario se realizó un alteo y un canal, alterando el cauce natural del arroyo.
- 3- El arroyo termina en un bajo al norte de la RN 8, en el cual formó progresivamente una laguna cuyo desagüe natural hacia el bajo “La Salada” fue bloqueado por el alteo del canal de riego. Como resultado de esta situación, en la lluvia del 15 de marzo de este año se terminó de desbordar la laguna, conectándose el arroyo El Quebrachal con el río Nuevo a 3500 m al norte de la RN 8, desembocando ambos en el Bajo La Salada. Este último evento produjo la inundación de las viviendas de dos productores de la zona.
- 4- Rotura de canal de riego, riesgos de sedimentación.

Impactos difusos

- 5- Aparición continúa de nuevas cárcavas y ensanchamiento de las existentes. Ascenso del nivel freático, principalmente en la parte baja de la cuenca. Daño a infraestructura de campos (e.g. Productores Luciano Daita y Raúl Rodríguez), destrucción de casas, galpones, alambrados.

b- Microcuenca del río Nuevo

Impactos puntuales

- 1- Corte del camino bajada a La cordobesa (3000 m al este de A 55) y camino vecinal que comunica la RP 33 con la ruta provincial 1 (RP 1) a la altura del campo del productor Ucke.
- 2- Puente río Nuevo y RP 33. Destrucción de las obras de protección de puente. Se rompieron las obras de disipación que estaban aguas abajo y aguas arriba del puente (está en la última tormenta de febrero del 2015). Se produjo socavamiento de los cimientos del puente, con el consecuente riesgo del colapso del mismo. Transito cortado en marzo del 2015 por fisura en carpeta asfáltica.
- 3- Caño de YPF (poliducto Villa Mercedes – La Matanza) está actuando como dique de contención (en el campo del productor Vasallo). A partir de este punto se unió con el arroyo de El Quebrachal en la última tormenta (febrero del 2015).

- 4- Río Nuevo y RN 8: problema de sedimentación y erosión. En la última tormenta (febrero 2015) se embancó parte de la alcantarilla sobre la RN 8, y se obstruyó el canal entre las RN 8 y 7. En marzo 2015 el río circulaba por la banquina hacia el área del Bajo La Salada, produciéndose un trasvase entre cuencas. En general, presenta un curso muy variable según sedimentación.
- 5- Río Nuevo y RN 7: problemas de sedimentación y erosión.
- 6- Río Nuevo y puente ferrocarril: problemas de sedimentación y erosión.
- 7- Río Nuevo y acceso a la V Brigada Aérea: problemas de sedimentación y erosión. Alcantarilla está funcionando de manera eficiente pero requiere periódico mantenimiento.
- 8- Canal entre RN 7 y 8: problema de sedimentación continúa como resultado de la baja pendiente y la carga alta de material en suspensión. Colapso por sedimentos en la tormenta de febrero del 2015.
- 9- A mitad de la cuenca, tributario del río Nuevo (campo del productor Ucke) alcantarilla desprendidas en las últimas lluvias, antes y después de la entrada al establecimiento, cortando el camino.
- 10- En proximidad de su desembocadura en río Quinto produjo graves daños por sedimentación en las explotaciones de los productores Daniel Bosco e Inés Alfonso.

Impactos difusos

- 11- Pérdida de terreno productivo y aislamiento de lotes por cárcavas. Destrucción de corrales, alambrados, viviendas, etc. Dificultad en el manejo en general (e.g. cárcavas separando aguadas del resto de lote).
- 12- Parte media y baja de la cuenca: agua superficial y subterránea salada que no se puede utilizar para bebida.
- 13- Parte baja de la cuenca: anegamiento por ascenso de freática y salinización: entre V. Mercedes y Vizcacheras, por la ruta provincial 14, 45.000 ha aproximadamente afectadas.

c- Microcuenca del arroyo La Guardia

Impactos puntuales

- 1- Daños en caminos vecinales (productores Casella y Bridaroli).
- 2- Calle Las Nenas cortada en distintas secciones por un tributario de arroyo La Guardia.

- 3- En lugar de atravesar la RN 8, lo cual sería el drenaje natural hacia el río Quinto como afluente del arroyo Zanjón del Cerro Negro, el arroyo corre por la banquina terminando en Bajo La Salada, realizando un trasvase entre cuencas hacia el río Nuevo. Cabe aclarar que en el recorrido presenta zonas de carga al sistema subterráneo que interfieren en el normal desagüe subterráneo de la cuenca (RN 8 km 711 al 715 aproximadamente).

Impactos difusos

- 1- Parte media de cuenca, se están generando varios brazos/cárcavas, algunos estabilizados otros con mucha actividad.
- 2- Anegamiento/salinización en la parte más baja de la cuenca.

d- Microcuenca Zanjón del Cerro Negro (del Portezuelo)

- 1- Es la más antigua con caudal permanente. En la actualidad está estabilizándose y aún arrastra una cantidad importante de sedimentos.
- 2- Colapso (tubificación, pipping) al este y sudeste de Juan Jorba. Registrado en un lote, sobre una ladera (productor Di Genaro). El informe del INA lo describe a esto en banquetas de las RP 33 y A 55.
- 3- RN 7 entre Santa Romana y Mediavilla. La alcantarilla sobre la autopista está subdimensionada, eventualmente se obtura, provocando la inundación de campos aledaños y eventualmente desborda, cambiando el cauce y generando embanques, principalmente en propiedad de Javier Mediavilla. Esto se debe al elevado nivel de fondo del arroyo, controlado por la alcantarilla de RN 7.

2.2. Amenazas

Los cambios hidrológicos que está experimentando la cuenca de El Morro se encuentran en pleno desarrollo, es decir que no se ha alcanzado una situación de estabilidad. Esto implica que los procesos que están actualmente ocurriendo relacionados al ascenso de freática y formación de nuevos cursos de agua continuarán, siendo difícil de predecir el tiempo que llevará alcanzar un equilibrio. Esta situación plantea grandes incertidumbres ya que nuevas amenazas aún no observadas y de magnitudes inciertas pueden aparecer. Por ejemplo, la continua generación de sedimentos (por incisión superficial y por transporte sub-superficial) constituye actualmente una seria amenaza ya que podría generar grandes aluviones de sedimentos que afecten a las obras viales. Por otro lado merece

sería consideración la posibilidad de que estos aluviones alcancen en algún momento a la ciudad de Villa Mercedes, principal área urbana de la cuenca.

3. Líneas de acción propuestas

Antes de considerar líneas generales de acción es apropiado reconocer que el proceso de formación de nuevos cauces en la cuenca de El Morro está en continua evolución y representa una respuesta del paisaje a los excedentes hídricos en crecimiento. Esta respuesta espontánea de la cuenca puede intentar mitigarse pero los esfuerzos por bloquearla o eliminarla artificialmente difícilmente prosperen. Es recomendable desarrollar la capacidad de convivir con los excesos hídricos, el transporte de sedimentos que desencadenan y adquirir experiencia en su conducción en el mediano plazo, mientras se explora la posibilidad de limitarlos en el largo plazo. Las acciones posibles pueden enmarcarse en dos grandes líneas, las de adaptación y las de mitigación.

3.1. Adaptación

Surge la necesidad inmediata de mapear las áreas de mayor peligrosidad de (i) colapsos y apertura de nuevos cauces, (ii) extensión y profundización de los ya existentes, (iii) sedimentación y despliegue de nuevos aluviones, (iv) cambios de las trayectorias en la cuenca baja. El mapeo de las áreas de potencial desarrollo de nuevos cauces puede apoyarse en el de vaguadas del terreno generado con un modelo digital del terreno. Modelos simples que se basen en los antecedentes de ocurrencia de i, ii, iii y iv permitirían determinar las áreas más probables de repetición de estos procesos. El cruce de estos mapas de peligrosidad con mapas de rutas y asentamientos urbanos y rurales ofrecerá una primera aproximación a las zonas de peligro más inminentes. Es recomendable que en cada una de estos puntos se monitoree el nivel freático y el avance de los procesos de erosión visibles desde la superficie en forma periódica.

En el mediano plazo es recomendable desarrollar mapeos de peligrosidad apoyados en una representación hidrológica de la cuenca más explícita, que considere no solamente la localización posible de procesos de tipo i, ii, iii y iv, sino también su intensidad y el nivel de caudales y traslado de sedimentos probable. **Actualmente es imposible definir una probabilidad de ocurrencia y magnitud de estos procesos, pero la modelización acompañada de monitoreo de variables hidrológicas en el campo y ajustes del modelo, podría aproximarlo.** Se detalla la recomendación de modelización en la sección siguiente. En el mediano plazo deben considerarse algunas amenazas de mayor importancia que la de los impactos observados a la fecha, entre ellas la de cortes o aluviones más severos en las rutas nacionales 7 y 8. La posibilidad de que aluviones más intensos alcancen centros urbanos, especialmente Villa Mercedes, merece ser evaluada. Estos mapeos deberían guiar la ubicación y dimensionamiento de nuevas obras de infraestructura y la planificación del avance urbano de la mencionada ciudad.

En cuanto a la infraestructura vial, la naturaleza inestable e incierta del fenómeno lleva a que solo sea posible dimensionar y localizar obras después de proyectar la evolución de la cuenca a partir de la modelización del transporte de agua y sedimentos. Antes de que eso se resuelva es recomendable destinar los esfuerzos a planes de contingencia y mantenimiento de las obras existentes. **Son prioritarios los planes de contingencia claros ante el posible corte de rutas, especialmente las nacionales 7 y 8. Montaje rápido de puentes temporarios, badenes o vías alternativas son ejemplo de las acciones a contemplar.** Las redes viales son especialmente vulnerables en su recorrido E-O, perpendicular a la dirección predominante de los nuevos cursos. Actualmente las rutas más importantes realizan este trayecto en la zona baja de la cuenca, donde la incertidumbre respecto a la trayectoria precisa de los cursos es mayor. Planteos de nuevas redes viales o recorridos alternativos deberían contemplar la posibilidad de realizar el trayecto E-O en zonas más altas de la cuenca donde la traza de los cursos es más estable.

La infraestructura urbana en la cuenca baja, especialmente en Villa Mercedes, puede ser vulnerable al daño por deposición o aluviones y al deterioro por ascensos freáticos. Es necesario realizar mapeos con alta resolución espacial de estos riesgos tanto para proteger zonas ya edificadas, como para guiar la expansión futura de esta ciudad. Se debería estudiar en detalle las opciones de desagüe de la ciudad, considerando alternativas al actual desagote hacia el canal de del bajo "La Salada". También debería contemplarse la posibilidad de depresión activa de la freática en las zonas más críticas de la ciudad.

Podemos considerar la adaptación en una primera fase de transición y en una posterior de estabilización. Respecto a la adaptación en la transición, se propone en primer término considerar acciones en la cuenca media (zona de formación de los cursos y cárcavas). Algunas acciones que los productores podrían tener en cuenta para adaptarse a los cambios: A) ubicar las inversiones de infraestructura destinadas a la producción en áreas lejanas a los paleocauces y/o zonas anegables o cercanas a lagunas, B) reubicar las instalaciones que estén en posiciones de alto riesgo a posiciones de bajo riesgo, C) planificar caminos alternativos para comunicar sectores del establecimiento que puedan quedar aislados por eventuales formaciones de cárcavas y nuevos cursos de agua, D) En los casos de explotaciones ganaderas los productores deberán reconsiderar la ubicación de alambrados y aguadas. En segundo término consideremos las acciones de adaptación en la cuenca baja (zona de sedimentación): A) estimar la necesidad de desplazar instalaciones, animales de las zonas bajas con potencial de ser anegables a zonas altas, B) planificar eventuales siembras de especies de crecimiento rápido sobre las áreas sedimentadas, C) planificar acciones para derivar los excesos de agua y sedimentos en dirección al río Quinto.

La adaptación en la fase de estabilización enfrentaría una situación que probablemente no sea muy diferente a la inicial. La diferencia podría residir en la presencia de mayor densidad de cárcavas y mayores cursos de agua permanente o semipermanente definidos en la cuenca media y por otro lado mayor superficie de zonas bajas cubiertas con sedimentos y/o anegables. Las acciones de

adaptación en la cuenca alta serían una continuación de las acciones emprendidas en la transición. Las acciones de adaptación en la cuenca baja podrían incluir: A) construcción de drenajes, B) evaluación de la nueva aptitud de uso de las tierras, y C) planificación de la producción de acuerdo al nuevo potencial.

3.2. Mitigación

Las acciones de mitigación pueden dirigirse a atacar los impactos y amenazas más preocupantes en forma directa y/o abordar las causas más fundamentales del proceso de formación de cauces. En el primer caso se plantea el ordenamiento hidrogeológico de la cuenca. En el segundo caso se plantea como desafío principal el manejo del balance hídrico a partir del ordenamiento o planificación del uso de la tierra en la cuenca. Ambas acciones posibles reúnen muchas incertidumbres respecto a su capacidad de aliviar el problema, de los detalles de su implementación y de sus costos. Este reporte busca simplemente delinear estas acciones y destacar las etapas de análisis necesarias previas a cualquier implementación.

3.2.1. Ordenamiento hidrogeológico

Pueden aliviarse algunos de los impactos más serios de los excesos hídricos ordenando la evacuación de los mismos. El proceso de formación de nuevos cursos en la cuenca puede ser visto como una respuesta espontánea del sistema a los excesos hídricos en la que se crea una red de drenaje. El problema central de esta red de drenaje espontánea es su aparición sorpresiva en tiempo y espacio junto con el transporte de sales y sedimentos. Si bien la ingeniería del drenaje tradicionalmente resuelve el problema de la evacuación de excesos hídricos “nuevos” en el caso de oasis regados y tiene un buen desarrollo en el país (debe destacarse que en 1974 se realizó un estudio de este tipo de obra para Villa Mercedes), el desafío de la cuenca de El Morro tiene características especiales que deben destacarse y que no resolvería un estudio clásico de drenaje, estas son la naturaleza dual subsuperficial y superficial del problema de nuevos cauces y la altísima inestabilidad de los sedimentos. La primera tiene que ver con la configuración de la cuenca a drenar que incluye una zona de pendientes significativas en la cuenca media y otra de pendientes más reducidas en la cuenca baja, ambas con necesidades muy distintas. **En la cuenca media, el drenaje podría enfocarse en anticiparse a la generación de colapsos y apertura de cauces espontáneos, creándolos en forma ordenada, evitando no solo las sorpresas, sino también el transporte masivo de sedimentos.** Estas obras no deberían ejecutarse sin antes resolver el desafío de la cuenca baja.

Esto es sumamente importante en cualquier intento de ordenamiento hidrogeológico, ya que las soluciones aisladas en la cuenca media podrían transformarse en problemas muy magnificados en la cuenca baja, donde el área productiva y la infraestructura vial y urbana, tanto como la población, son las más abundantes y críticas de la cuenca. En esta parte terminal de la cuenca, la necesidad primaria

es encauzar el flujo de agua y favorecer su salida por los recorridos de líneas de máxima pendiente hacia un desagüe en el río Quinto. Por otro lado, es importante evitar trasvases y confluencias artificiales que entorpecen el drenaje y tienen alta probabilidad de verse sobrepasadas y destruidas por los caudales crecientes.

Una desventaja importante de estas obras es que pueden desplazar las zonas más vulnerables a anegamiento e impacto de aluviones hacia zonas más bajas donde los costos o impactos pueden ser mayores (un ejemplo de esto es la construcción del puente en RN 8 y Zanjón del Cerro Negro que generó la inundación y sedimentación en campos al norte de RN 7). Sin embargo, en favor de estas acciones debe reconocerse que la tendencia a generar más excesos hídricos y más flujo superficial en la cuenca no parece detenerse y los intentos por frenar estas salidas o incluso desviar los cursos no parecen ser efectivas en el mediano plazo.

Respecto a la inestabilidad de los sedimentos, cualquier obra de evacuación de aguas debe considerar la carga enorme de los mismos y su aporte episódico desde las nacientes, cuando ocurren colapsos nuevos y permanentes a partir del transporte dentro de los cauces, y desde zonas de aporte superficial por escorrentía en las cuencas baja y media. Estos sedimentos pueden volver ineficientes las obras de encauzamiento y lo que es aún más preocupante, pueden llevar a que las obras de encauzamiento desplacen la zona de máximo riesgo de aluviones a la zona más poblada de la cuenca en Villa Mercedes. **En este sentido es recomendable que las obras apunten a retener los sedimentos en la cuenca media mediante control de la pendiente y velocidad del agua en los cauces. En la cuenca baja deben favorecer el escurrimiento de agua y arrastre de sedimentos**, generando los desagües sobre las líneas de máxima pendiente hacia el río Quinto. Ejemplos de las opciones a contemplar son el entubado de al menos una parte del caudal de los nuevos cursos en la cuenca media/alta o, alternativamente, el establecimiento de una red de canales a cielo abierto, incluyendo también distintas opciones de microembalses de retardo. La conveniencia de estas opciones solo puede determinarse tras un cuidadoso estudio de factibilidad y debe contemplar su vulnerabilidad al aumento de caudales y a la constante amenaza de bloqueo/obturación por sedimentos.

Cualquier intento de implementar obras de ordenamiento hidrogeológico como las esbozadas debe partir de un trabajo detallado de modelado del transporte de agua (subterránea y superficial) y de sedimentos en la cuenca. Este no es un desafío típico para la ingeniería del drenaje y posiblemente requiere combinar modelos pre-existentes y articular la experticia de distintas disciplinas. Debe destacarse que un modelo explícito del transporte de agua subterránea y superficial será de enorme utilidad también para el ordenamiento del uso de la tierra en la cuenca.

3.2.2. Ordenamiento del territorio

La mayoría de los problemas de erosión documentados y enfrentados a partir del ordenamiento territorial en otras regiones son de tipo superficial. **Es fundamental reconocer que en el caso de la**

cuenca de El Morro el proceso de apertura de cauces es disparado por procesos subterráneos en los que el drenaje profundo y no el escurrimiento superficial es el flujo hidrológico clave. En este sentido, las acciones de ordenamiento del territorio deberían concentrarse en reducir este flujo, lo que involucra aprovechar al máximo el agua que ingresa a los suelos para sostener la transpiración vegetal. Las formas de lograr esto pueden ser varias, y si bien el retorno a las condiciones iniciales de monte natural en toda la cuenca llevaría a la reducción del drenaje profundo, otras cubiertas vegetales también podrían ofrecer este servicio. La reducción del drenaje profundo requiere dos cambios: (i) incrementar la demanda de agua de la vegetación y (ii) aumentar la capacidad de acceso al agua profunda del suelo y de la freática cuando sea cercana a la superficie por parte de las plantas.

El incremento de la demanda de agua de la vegetación puede lograrse con mayor implementación de dobles cultivos o cultivos de cobertura, intercultivos, con pasturas perennes o plantaciones forestales y con ciclos más largos en los cultivos anuales. Juega un papel importante en el caso de los cultivos el sostenimiento de la fertilidad del suelo que si es muy baja puede limitar el consumo de agua. **En general, un manejo de las secuencias agrícolas que responda en forma flexible y explícita al almacenamiento de agua en el suelo,** aumentando la intensidad de la demanda (e.g. cultivos de cobertura, siembras más tempranas y ciclos más largos) cuando hay más agua almacenada y reduciéndola cuando hay menos, ayudaría a compatibilizar el objetivo de reducir el drenaje profundo con el de minimizar los riesgos de falla por sequía. La generación y evaluación de alternativas productivas (e.g. producción de heno con cultivos invernales, incorporación de legumbres en los cultivos de cobertura, manejo de fecha de siembra de los cultivos de verano, fertilización de los cereales, etc.) requiere de un proceso de desarrollo conjunto entre productores, asesores e investigadores, que contemple a la vez la viabilidad en los sistemas de producción y el logro de los objetivos hidrológicos planteados.

El mejor acceso al agua profunda del suelo y de la freática puede lograrse con cultivos de raíces profundas. El impacto mayor podría lograrse con perennes, como pasturas de alfalfa o plantaciones forestales. Sin embargo, sería posible ir en la misma dirección con cultivos anuales que profundicen más rápido, como el girasol y el cártamo. En el caso de los bañados incipientes y áreas con capas freáticas muy cercanas a la superficie, que en casi todas las ocasiones son de salobres a salinas, es recomendable favorecer el establecimiento de pasturas adaptadas (e.g. agropiro) o de leñosas tolerantes a la salinidad.

Estas acciones y muchas otras que puedan cumplir el objetivo de reducir los excesos hídricos a partir de la elección y manejo de la vegetación de la cuenca requieren ser aplicadas en fracciones grandes de la superficie para tener un efecto significativo. De nada sirve implementar usos del suelo muy efectivos en cuanto a los puntos (i) y (ii) si solo se realiza en un 10% de la cuenca. Posiblemente acciones sobre al menos un 50% de la cuenca alta, media y baja sean necesarias, si bien la respuesta del sistema a estas acciones podrá aproximarse solamente usando modelos de simulación apoyados en monitoreo de campo (explicado más adelante). Por eso, para favorecer diseños más apropiados que logren rápida adopción es clave la participación de productores y administradores del territorio

en el proceso de desarrollo de las tecnologías que impliquen un cambio profundo de los sistemas de producción.

Si bien se mencionó más arriba que el problema fundamental a atacar es reducir el drenaje profundo, **controlar el escurrimiento superficial es también muy importante** en las subcuencas en las que ya se han abierto cursos de agua. En estos casos, la zona media y baja de los cauces recibe agua de escurrimiento que no solo engrosa su caudal sino también su carga de sedimentos. Esto lleva a que **en las zonas medias y bajas de la cuenca sea recomendable implementar prácticas de reducción de la escorrentía y la erosión** tales como vegetación perenne, mantenimiento de rastrojos, aplicación de cultivos de cobertura e implementación de terrazas o franjas de protección. **Es importante destacar que las medidas que reducen el escurrimiento superficial generarán mayor ingreso de agua al suelo y será necesario acompañar esto con un consumo más agresivo o exhaustivo de la misma, de lo contrario se estaría desviando escurrimiento superficial a drenaje profundo, cambiando la temporalidad de la llegada de agua a los cauces pero no su magnitud, y posiblemente empeorando la cuestión del transporte de sales.**

En los cauces que se profundizan es factible disminuir el arrastre de sedimentos controlando las pendientes del curso mediante tabiques y saltos. Se debe prestar mucha atención al diseño del anclaje de estas estructuras sobre sedimentos más firmes o sobre el basamento. Una acción rápida recomendable es la siembra aérea inmediata de los sectores donde se produce sedimentación de manera de comenzar a estabilizar los sedimentos. Para ello se recomiendan especies perennes tolerantes a la salinidad como agropiro y especies anuales de rápida implantación como centeno y cebada.

3.3. Monitoreo de la cuenca

Conocer el estado hidrológico de la cuenca cumple tres objetivos en el marco del proceso de transformación que está sufriendo. El primero es el de anticipar en el corto plazo situaciones críticas de aparición abrupta de nuevos cauces y de aluviones asociados. El segundo es el de aportar información indispensable para tener, en el mediano plazo, un mejor conocimiento del funcionamiento hidráulico e hidrogeológico de la cuenca incluyendo una proyección de la evolución del proceso en el más largo plazo. Finalmente, el monitoreo con un diseño adecuado que incluya áreas y períodos control o testigo, permitirán evaluar el resultado que tengan distintas acciones de mitigación en la cuenca. Dado que estamos ante un proceso dinámico es necesario contar con datos de geoindicadores morfológicos y sedimentológicos, actualizar los mapas que contienen información geomorfológica e hidrográfica, continuar con el seguimiento los registros hidrometeorológicos, como también de los cauces y su comportamiento.

No se presentan aquí los detalles de un plan de monitoreo exhaustivo, lo cual excede el alcance de este informe, pero si se plantean los lineamientos generales y las variables clave que deberían registrarse. El monitoreo ideal capaz de ofrecer una base continua de información sin demandar

costos muy elevados debe contemplar una red mínima de observaciones ininterrumpidas, complementada con mediciones mucho menos frecuentes y oportunistas (ejecutadas con más frecuencia en épocas extremas) en muchos más puntos. En el caso del monitoreo de acciones de mitigación, es importante contar previamente con la información de base que aquí se propone y luego diseñar las observaciones más exhaustivas de las obras o acciones en cuestión considerando siempre la necesidad de contar con áreas control o testigo que no fueron intervenidas. Este tipo de monitoreo es la base del manejo adaptativo que tiene como meta intervenir un sistema con el fin de cumplir un objetivo inicial dentro de un marco de gran incertidumbre. La acción en cuestión sirve de experimento y un monitoreo adecuado permite capitalizarla para mejorar acciones futuras.

El modelo de simulación general de la cuenca capaz de representar el flujo de agua superficial y subterránea así como el transporte de sedimentos, será un ordenador ideal del monitoreo. Modelos de este tipo permiten identificar cuáles son las variables más sensibles determinando el comportamiento del sistema y orientan respecto a qué, cuándo y dónde medir. También estos modelos permiten responder a situaciones hipotéticas, por ejemplo que pasaría si se produjera un aumento en el régimen de precipitaciones o si se deforestasen los bosques remanentes.

Dado el papel central de los excesos hídricos acumulados subterráneamente, es fundamental centrar el monitoreo en el seguimiento de niveles freáticos en los tres niveles altitudinales de la cuenca (alta, media y baja). Comprender las tendencias de largo plazo, pero también la respuesta de los niveles y los gradientes hidráulicos a períodos de lluvias intensas es una de las necesidades que debe cubrir esta red de medición. Las zonas de colapsos y erosión subsuperficial requerirán la mayor atención y mediciones realizadas en zonas con coberturas contrastantes (e.g. monte, agricultura) ayudarán a comprender el efecto mitigador que pueda tener el manejo de la vegetación. El monitoreo de la composición química de las aguas, especialmente la salinidad total, será de ayuda para entender el funcionamiento del sistema hidrológico y a la vez anticipar el potencial de salinización de suelos por las aguas freáticas cercanas a la superficie.

A las mediciones freáticas deben sumarse las de superficie. El registro continuo de caudales y periódica de la salinidad y sedimentos en suspensión de los cursos principales es clave. Al menos los cursos permanentes más importantes deben medirse en puntos con secciones relativamente estables en forma periódica. La inestabilidad de los cauces obligará a que se revisen los puntos de medición, especialmente en la cuenca baja.

Por otra parte, el monitoreo anual apoyados en información satelital que actualicen el estado de (i) la red de cursos e incisiones, (ii) los aluviones, (iii) presencia de bañados, (iv) la cubierta de bosque, pasturas y cultivos, (v) presencia de sales en superficie, entre otras variables; ayudarán en el seguimiento de largo plazo de la cuenca.

Por último, se sugiere la conformación de una comisión interinstitucional para el seguimiento de la evolución de la cuenca y la articulación de intereses de los distintos actores que la ocupan o intervienen en la misma. Esta comisión debería incluir al gobierno provincial, instituciones de ciencia y técnica y el consorcio de productores de la cuenca y los municipios. Esta permitiría realizar los trabajos de monitoreo de la cuenca conjuntamente con los productores de la zona tendiendo a poder realizar un contacto directo a terreno con los mismos, poder canalizar las diferentes problemáticas y lograr obtener estrategias conjuntas de acción.

San Luis, 8 de Abril de 2015

ANEXO I – Información incluida en el repositorio de datos e informes de la cuenca de El Morro hasta la fecha de este informe – puede consultarse provisoriamente aquí:

<https://drive.google.com/drive/folders/0B5x1mrLM4no0fmFKTWNZLTF1Y2tmVFAxcXRyU2tyVkVwVDRURzdFbU1OZTNycHo0RHREOTg>

| Carpeta | Nombre Trabajo | Descripción | Link |
|----------------------------|----------------|--|------|
| | | Información Cartográfica geológica- Estudio Geomorfológico geomorfología y memorias técnicas Investigaciones y Estudios Abrir de la Cuenca del Morro sobre los excesos hídricos y erosión y aluviones | |
| Investigaciones y Estudios | | Estudios de geología, registros de Investigación líneas de geofísica por el método de Hidrogeológica en el área sondeo. Análisis químico del agua Abrir Los Manantiales superficial. Propuesta de construcción de obras. | |
| Cartas / Mapas | Mapa 1 | Mapa físico de la Cuenca de "El Morro", con los principales Abrir establecimientos | |
| Cartas / Mapas | Carta Nº 1 | Abrir Carta geológica, geomorfológica de | |

| | | | |
|----------------|------------|-----------------------|--|
| | | | la Cuenca de "El Morro" |
| Cartas / Mapas | Carta Nº 2 | Abrir | Carta hidrográfica de la Cuenca de "El Morro" |
| Mapas | Carta Nº 3 | | Carta de ubicación de puntos de muestreo - Estudio geomorfológico de la Cuenca de "El Morro" |
| Cartas / Mapas | Carta Nº 4 | Abrir | Carta de procesos de riego - análisis comparativo - Cuenca de "El Morro" |
| Documentos | Nº 0001 | Abrir | Carta de YPF a Ing. Guillermo Kall y Dr. Carlos A. Peña |

| | | | |
|------------|---------|---|-----------------------|
| Documentos | Nº 0002 | Memorandum de la Fuerza Aérea sobre resultado de reunión que trató inundación y afloramiento de napa en año 1985. | Abrir |
| Documentos | Nº 0003 | Resumen de la primera reunión motivada por problemas de inundación en la subcuena de Juan Jorba. 24/10/1985 | Abrir |
| Documentos | Nº 0004 | Informe preliminar del área de la subcuena de Juan Jorba. Ing Guillermo Kall | Abrir |
| Documentos | Nº 0005 | Nota a Ing. Carlos Larrusse de productores a la vera del canal colector general de desagüe La Salada, preocupados por posible taponamiento por sedimentos. | Abrir |
| Documentos | Nº 0006 | Nota al Jefe de Programa de Recursos Hídrico del Ing. Carlos Larrusse informando los problemas de sedimentación del canal colector general desagüe La Salada. | Abrir |
| Documentos | Nº 0007 | Fotos de Inundación en ruta Nº 7 y canal colector | Abrir |
| Documentos | Nº 0008 | Informe de trabajo en la Subcuena El Morro por Ing. Agr. Mario Galván. | Abrir |
| Documentos | Nº 0009 | Informe semanal sobre recorridas, jornadas y trabajos en Subcuena El Morro. CIALPA - Ministerio del Campo. 2008 | Abrir |
| Documentos | Nº 0010 | Informe INTA Castelar. Determinación de Subcuena El Morro y La Petra. Digitalización de cartografía y elaboración de mapa de riego de erosión . | Abrir |

| | | | |
|---------------------------|--|--|-----------------------|
| Documentos | Nº 0011 | Nota enviada al Presidente de San Luis Aguas Lic. Tomasevich del Consorcio de Manejo y Conservación de Suelo El Morro. | Abrir |
| Informes / Presentaciones | Información Técnica Nº 175 Esguerrimiento Hídrico superficial en la Cuenca Hidrográfica de "El Morro", Provincia de San Luis | Diagnóstico de la situación de la cuenca a través de evaluación cualitativa (imágenes satelitales, fotografías aéreas) y cuantitativas (modelos hidrológicos Watershed y Runoff) | Abrir |
| Informes / Presentaciones | Manejo Integrado de Recursos Hídricos. Cuenca Hidrográfica El Morro | Ordenamiento hidrográfico, evitando la erosión hídrica y mejorando la infiltración y captación de agua a través de obras como microembalses y galerías de captación. | Abrir |
| Paper / Tesis | | "Circulación vertical del agua y su relación con la vegetación en zonas áridas y semiáridas" | Abrir |
| Paper / Tesis | Tesis Final Santoni Metadatos Tesis Santoni | Carpeta con todos los datos utilizados para el desarrollo de la Tesis | Abrir |

Paper / Tesis

Tesis Romina Tabacchi

"Consecuencias del surgimiento del
Río Nuevo en la Sociedad de Colonia
Los Manantiales"

[Abrir](#)