

CAMBIO CLIMÁTICO, TRANSFORMACIONES Y CONFLICTOS TERRITORIALES EN LA CUENCA HÍDRICA DE “EL MORRO”, PROVINCIA DE SAN LUIS, ARGENTINA.

Alfredo D. Collado

Estación Experimental Agropecuaria San Luis

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

Rutas Nacionales 7 y 8 - CC 17 (D5730CKA) Villa Mercedes, San Luis, Argentina.

collado.alfredo@inta.gob.ar

Resumen

La cuenca hídrica de “El Morro” se localiza en la provincia de San Luis, Argentina. Sus condiciones biofísicas representan ambientes frágiles con múltiples restricciones para su uso. El cambio climático, evidenciado por la tendencia creciente de las precipitaciones según registros de más de un siglo, los inviernos menos rigurosos, las condiciones socioeconómicas y de mercado, el advenimiento de productores foráneos que desconocen el funcionamiento de estos ambientes, el reemplazo de ecosistemas naturales, el avance de la frontera agropecuaria, las transformaciones territoriales y diversos conflictos, pueden sintetizarse mediante el Modelo Presión-Estado-Respuesta (PER). El mismo considera las actuaciones antrópicas sobre el ambiente (Presiones), los cambios en la calidad del recurso (Estado) y la reacción social derivada de políticas ambientales, económicas y sectoriales frente al impacto (Respuestas).

Palabras clave: San Luis, cuenca hídrica, cambio climático, transformaciones, conflictos.

Introducción

El área de estudio de 220.000 ha se localiza en el Departamento General Pedernera, situado en el sector noreste de la provincia de San Luis, Argentina (Figura 1). Este espacio geográfico está comprendido entre los 33° 49' 06" S, 65° 31' 13" O y los 33° 02' 37" S, 65° 02' 36" O.

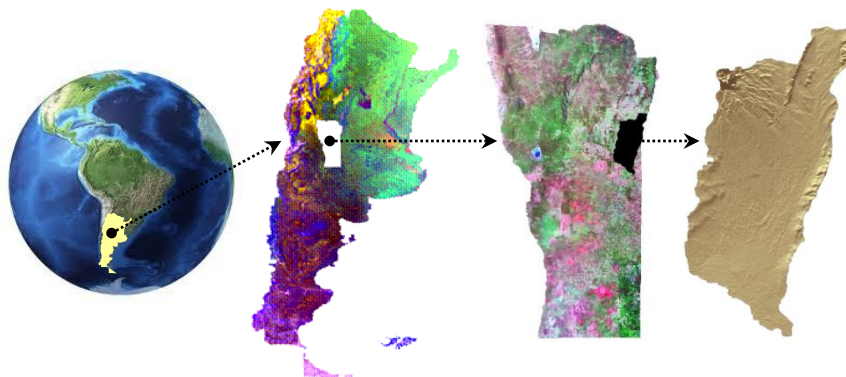


Figura N° 1: Localización del área de estudio.

Debido al deterioro ambiental y sus efectos, existen numerosos estudios referidos a la cuenca hídrica de “El Morro”. Barbeito et al., 2008, profundizaron el análisis sobre investigaciones en la activación de procesos fluviales en el sistema hidrográfico de la misma. En base al estudio realizado se concluye que como factor condicionante se destacan las particularidades geológicas y geomorfológicas, determinantes de la cercanía del nivel freático a la superficie y el progresivo aumento de las precipitaciones en las últimas décadas, que han inducido a la intervención antrópica sobre los ecosistemas naturales, en particular el bosque de caldén (*Prosopis caldenia* Burk.), que fue eliminado o fuertemente alterado para el laboreo e implantación de cultivos, lo que produjo un cambio en la relación infiltración-escorrentía y en la evapotranspiración; existiendo otros estudios complementarios de carácter geomorfológico y geológico de la cuenca (Sosic, 1964).

La determinación de patrones de escurrimiento superficial se efectuó a través de información provista por una imagen SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) y de modo complementario, mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG) fueron delimitadas las subcuencas y sus parámetros morfométricos a efectos de conocer el funcionamiento del sistema hidrológico, como herramienta de planificación territorial y ambiental (Galván y Collado, 2009).

Estudios adicionales afirman que las actividades antrópicas en la cuenca pueden dejar una fuerte impronta en el ciclo hidrológico, no sólo por el consumo humano u otros usos que se le pudiera dar al recurso hídrico, sino también por sus efectos en la estructura y funcionamiento de la vegetación. La recarga de agua subterránea en paisajes sujetos a estas condiciones puede estar condicionada por situaciones especiales, como una lluvia intensa acompañada por eventos de escurrimiento superficial, que derivan en una recarga focalizada en las zonas bajas del terreno.

Los resultados obtenidos de los modelos hidrológicos aplicados, confirmaron que los bosques semiáridos evapotranspiran prácticamente la totalidad de la precipitación anual, generando recarga nula y una elevada acumulación de sales en sus perfiles, de 0.15 a 9 kg/m² hasta 6 m de profundidad (Santoni, 2012).

Recientemente, el Gobierno de la provincia de San Luis a través del Consejo Provincial de Ciencia, Técnica, Desarrollo e Innovación (2015) convocó a una Comisión de trabajo sobre la cuenca hídrica de “El Morro” para abordar un estudio sobre los nuevos cursos de agua, descripción del proceso y pautas para su gestión.

Materiales y Métodos

Para la delimitación y posterior análisis de la cuenca, fue utilizada una imagen SRTM con resolución espacial de 90 metros para la obtención del DEM (*Digital Elevation Model*) ó Modelo Digital de Elevaciones a partir del cual se obtuvo un mapa de pendientes para la obtención de información topográfica. Para efectuar el análisis espacio temporal y determinar los cambios de uso y cobertura de la tierra en la cuenca durante el período 1980 - 2016, se recurrió a Imágenes satelitales *Landsat Thematic Mapper Path 230, Row 83, CBERS - 2B HDR (High Dynamic Range)* y *MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)*. Respecto del análisis de información pluviométrica fueron analizados registros históricos obtenidos en jurisdicción de la cuenca. Las localidades consideradas fueron: Villa Mercedes

(período 1903-2016); Justo Daract (período 1915- 2016) y Villa Reynolds (período 1956-2016). Con esta información fue analizada la variabilidad interanual, media histórica, media móvil cada 10 años y tendencia (lineal).

Para inferir consecuencias derivadas del cambio de uso y cobertura de la tierra fue empleado el Sistema Soporte de Decisiones - SSD MicroLEIS (*Land Evaluation Information System Decision Support System*) que representa un Sistema de Ayuda a la Decisión para la Evaluación y Protección de Suelos (De la Rosa, 2002); en particular el Módulo Alcor para determinar la vulnerabilidad a los procesos de compactación por intensificación de las actividades rurales y mecanización de las mismas.

Con el propósito de constatar la densificación de horizontes se utilizó un georradar o GPR (*Ground Penetrating Radar*). La prospección representa una técnica no destructiva basada en la propagación de ondas electromagnéticas en el suelo en una frecuencia determinada y el posterior registro de la reflexión generado por los diferentes cambios de estratigrafía que puedan existir en el suelo. Se efectuó la prospección en 10 transectas georreferenciadas de 200 metros cada una, distribuidas en la parte alta, media y baja de la cuenca. Para ello fueron utilizadas dos tipos de antenas: una no blindada de 200 MHz y una antena blindada de 1 GHz. Puede considerarse que la máxima profundidad de investigación lograda con la antena no blindada de 200 MHz fue de aproximadamente 4.5 m; mientras que para la antena blindada de 1 GHz, la misma fue de aproximadamente 1.2 m. La resolución (tamaño del elemento mínimo detectable) provista por las imágenes capturadas ó radargramas con la antena de 200 MHz fue del orden de los 0.175 m, mientras que con la antena de 1 GHz, correspondió a 0.035 m.

Resultados y Discusión

El análisis de algunas variables climáticas como precipitaciones y temperaturas es importante por inducir en condiciones socioeconómicas favorables, el cambio de uso y cobertura de la tierra.

Precipitaciones

Las regiones, semiáridas y subhúmedas secas se caracterizan por un balance hídrico negativo la mayor parte del año. Las precipitaciones son oscilantes, de difícil predicción, presentan promedios bajos y una alta variabilidad espacial y temporal que dificultan el manejo de los territorios en áreas productivas de secano. En este contexto, diversos estudios señalan la necesidad de analizar el patrón y las tendencias de variables climáticas, en especial pluviométricas, considerando diferentes escalas espaciales y temporales.

El análisis pluviométrico de las series históricas registradas en la región indican una alta variabilidad interanual de las precipitaciones y la presencia de ciclos secos y húmedos. A modo de ejemplo representativo, la Figura 2 ilustra sobre el comportamiento de las lluvias en Villa Mercedes, en donde la media histórica para el período 1903-2016 fue de 623,1 mm siendo el valor más bajo de 230 mm para el año 1937 y el más alto de 1200,5 mm correspondiente al año 2015.

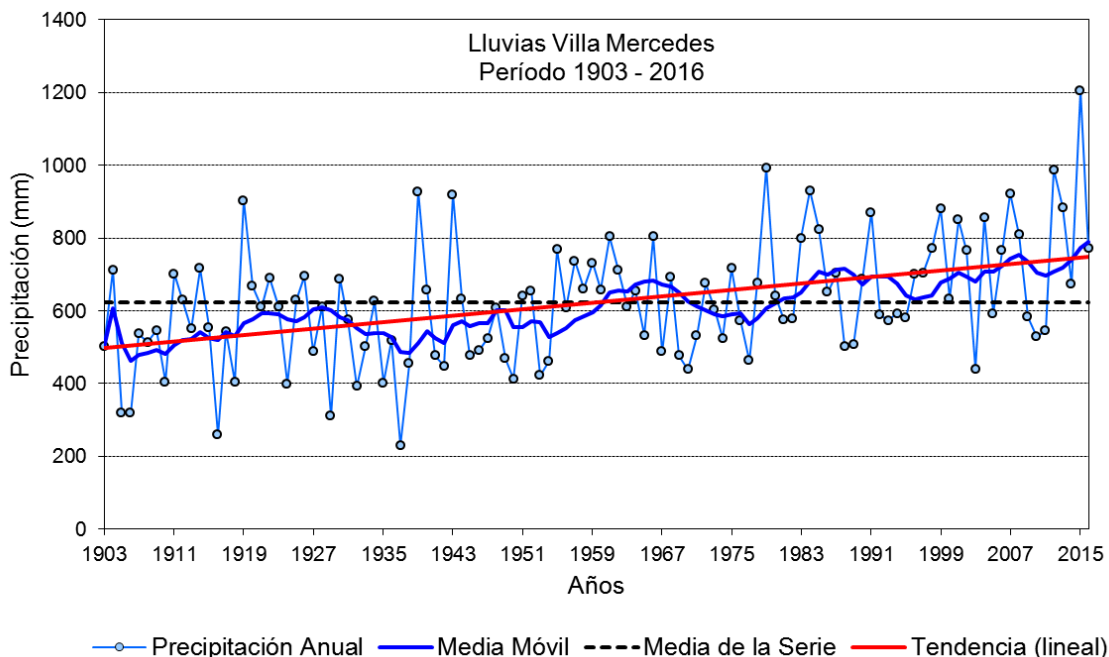


Figura Nº 2: Comportamiento de las precipitaciones en Villa Mercedes. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA San Luis, 2016).

Como datos complementarios, durante el período de 114 años analizado, la sequía más prolongada fue de 111 días sin lluvia, desde el 23 de abril al 11 de agosto de 1966 y el día más lluvioso fue el 6 de enero de 1991 con 108,2 mm.

Aunque con tendencia creciente, la gran variabilidad de las precipitaciones, representa un importante riesgo de vulnerabilidad a la desertificación. La aplicación del SSD MicroLEIS (Módulo Cervatana), indica que en años lluviosos la capacidad agroecológica de las tierras es buena y en años secos es marginal o nula debido al déficit bioclimático expresado por el Índice de Aridez, definido por la relación precipitación / evapotranspiración ($I_h = P/Evt$).

Temperaturas

La serie temporal de datos de temperatura existentes, en jurisdicción territorial de la cuenca, corresponde a la Estación Meteorológica del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA San Luis) para el período 1968 – 2016.

Para ese lapso de tiempo se calculó el Índice de Lang o termopluviométrico, que considera la relación entre precipitaciones anuales y los valores medios anuales de temperatura (P/T°). Según Lang, los valores del índice (adimensionales) entre 0 y 20 corresponden a ambientes áridos; entre 20 y 40 a semiáridos, entre 40 y 60 a subhúmedos-secos y por encima de 60 a subhúmedos-húmedos. La Figura 3 representa el comportamiento para el ámbito descripto.

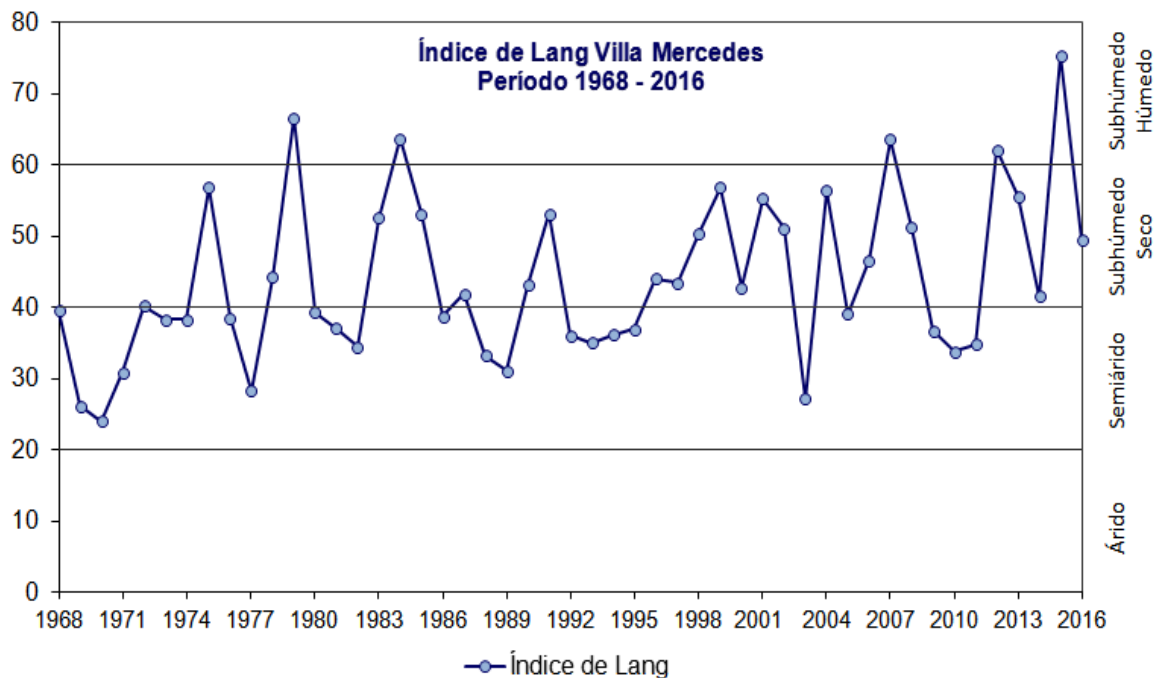


Figura 3: Evolución del Índice de Lang o termopluviométrico en Villa Mercedes. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA San Luis, 2016).

Para esta localidad, el cálculo del citado Índice estableció que para el período analizado (1968-2016), el clima se comportó en el 49 % de los casos como semiárido, en el 42.5 % como subhúmedo seco y en el 8.5 % como subhúmedo húmedo (Figura 4).

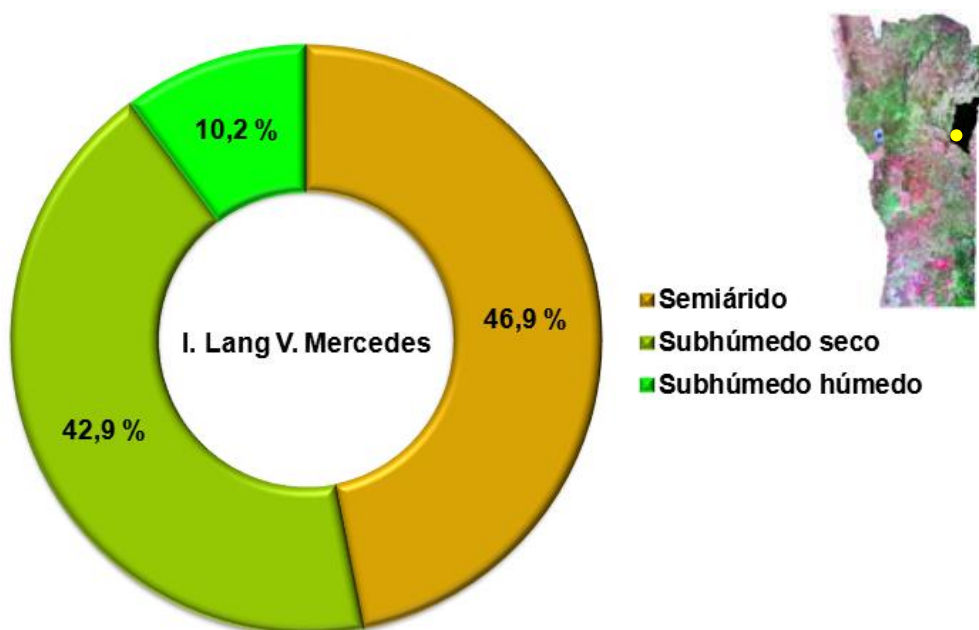


Figura Nº 4: Variabilidad climática según el Índice de Lang o termopluviométrico.

Temperaturas máximas absolutas, medias y mínimas absolutas:

El Centro de Información Meteorológica (CIM), dependiente del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de Argentina, proporcionó información sobre temperaturas máximas absolutas, medias y mínimas absolutas correspondientes a la Estación San Luis (Nº 87436) en proximidad de la cuenca, para el período 1960-2016. El comportamiento, puede sintetizarse en la Figura Nº 5.

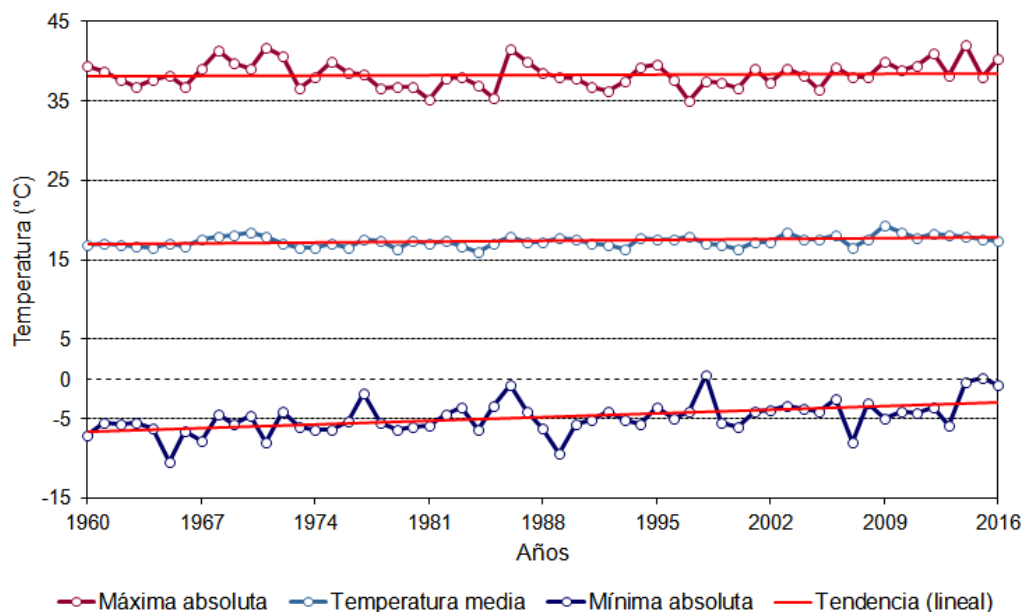


Figura Nº 5: Comportamiento de las temperaturas máxima absoluta, media y mínima absoluta en la Estación San Luis (Nº 87436). Fuente: SMN, 2016.

Como puede apreciarse en el gráfico precedente, la tendencia en las temperaturas máximas absolutas y medias es estable, pero creciente en el caso de las temperaturas mínimas absolutas, lo que representa inviernos más cálidos.

Cambio de uso y cobertura

La tendencia creciente de las precipitaciones, los inviernos menos rigurosos y las condiciones socioeconómicas y de mercado, han promovido la expansión de la frontera agropecuaria y el advenimiento de productores foráneos que desconocen el comportamiento climático fluctuante en la región, lo que representa uno de los mayores problemas agroambientales en relación a la incorporación de estas tierras al sistema productivo.

Si bien durante el período analizado la tendencia de las precipitaciones es creciente, gran parte del volumen de agua caído puede concentrarse en pocos días y la variabilidad interanual o alternancia entre años húmedos y secos es frecuente. En cualquier caso, se produjo una expansión de la superficie cultivada en detrimento de los ecosistemas naturales de la cuenca. Estudios recientes (Sáenz et al., 2016), indican que el cambio de uso y

cobertura de la tierra, varió entre 1980 (18 % agricultura y 82 % de campos con explotación ganadera) y 2016 (78 % de agricultura y 2 % de pasturas implantadas). La superficie remanente (20 %), debido a la presión antrópica (P), derivó en espacios con cambios de estado (E), representados por fragmentos de bosque muy intervenidos, áreas salinizadas y superficies con diversos grados y formas de erosión, en especial hídrica.

El análisis espacio-temporal a partir de imágenes satelitales (Collado et al., 2015), verifica cómo ha evolucionado el reemplazo de las comunidades de vegetación natural por cultivos en el período de tiempo considerado (Figura N° 6).

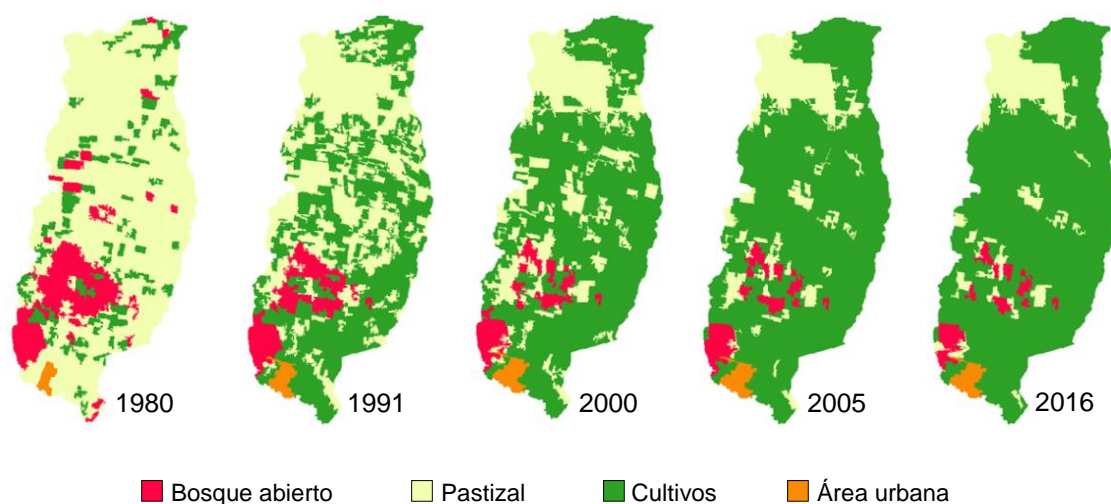


Figura N° 6: Cambios de uso y cobertura de la tierra en la cuenca hídrica de “El Morro”, San Luis, Argentina. Período 1980-2016.

Si se considera que la vegetación natural es fundamental para la protección de las cuencas hídricas de captación, atenuar el impacto de las gotas de lluvia, reducir los efectos de la escorrentía, disminuir la erosión hídrica y eólica, generar suelo, aumentar la infiltración y la alimentación de acuíferos, conservar la humedad relativa de los suelos y de la atmósfera superficial, regularizar el flujo hídrico durante los distintos meses del año y mitigar los efectos del cambio climático, su reemplazo promueve serios disturbios ambientales.

Además del progresivo reemplazo de vegetación natural para la implementación de cultivos, existen otras prácticas como los fuegos, cuya acción deja el suelo descubierto y afecta su estructura, modifica el tamaño de los agregados y promueve la disminución en la capacidad de infiltración por sellamiento de los macro y micro poros. La acción de la lluvia sobre una superficie desprotegida provoca una pérdida significativa de la capacidad de infiltración y un aumento en la producción de sedimentos.

Los suelos de la cuenca “El Morro” corresponden a Haplustoles énticos al Norte y Ustortentes - Ustipsamientos típicos al Sur. Los mismos poseen una capacidad de uso de clase predominantemente VI. Esta capacidad de uso se caracteriza por suelos aptos para ganadería

con restricciones para su uso con fines agrícolas, debido a la susceptibilidad a procesos de erosión hídrica y eólica, por lo que requieren prácticas complejas de manejo y conservación. En los Haplustoles el escurrimiento se reduce al 35% cuando se varía la cobertura de un suelo desnudo a vegetación natural. (15.8 mm = escurrimiento con suelo desnudo, 5.4 mm = escurrimiento con suelo natural).

También se indica que, en general, el promedio anual del escurrimiento en cuencas sin cobertura vegetal es del orden del 30% de la precipitación anual media, mientras que en cuencas con cobertura vegetal alcanza el 10%. Del total de precipitación en los Ustipsamente típicos se infiltra el 74% de la precipitación total, y en los Haplustoles este porcentaje es menor alcanzando el 65%, cuando la cobertura es la natural.

La cantidad de agua que ingresa al suelo refleja las condiciones de sus propiedades físicas. Los sistemas de cultivo influyen la tasa de infiltración final del agua en el suelo, tanto por la modificación de la rugosidad y cobertura de la superficie, como por la alteración de la estructura, de la densidad y de la porosidad. La preparación de los suelos con fines agrícolas, puede inicialmente, mejorar la infiltración y ocasionalmente beneficiar el drenaje; pero, con el tiempo, la labranza favorece la degradación de la estructura y la reducción de la tasa de infiltración. En el sector bajo de la cuenca, el nivel freático está en sectores a escasa profundidad y los procesos de salinización son evidentes (Figura 7).

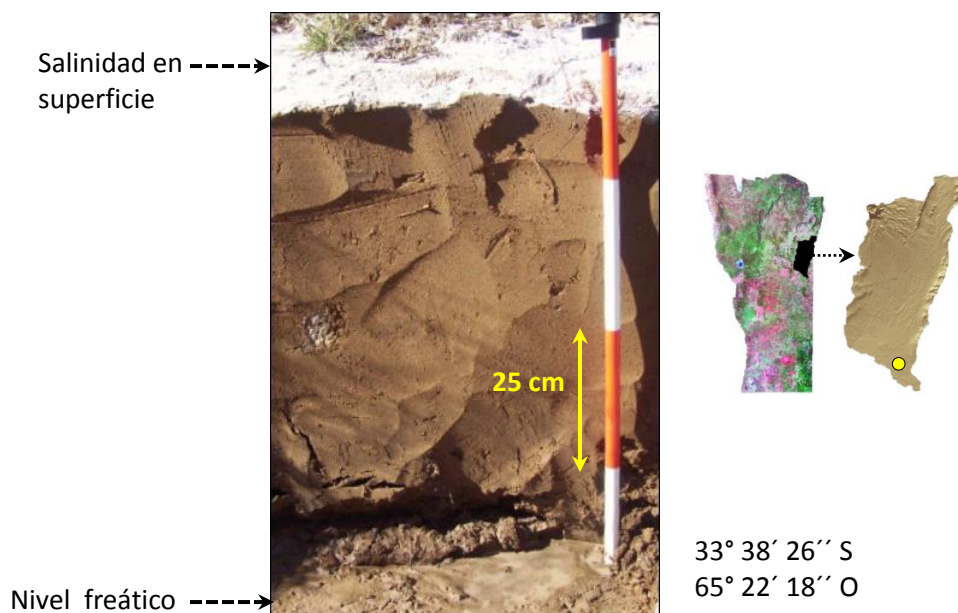


Figura 7: Procesos de salinización en el sector bajo de la cuenca de “El Morro”.

Como consecuencia del cambio climático y la presión antrópica, se han promovido severos procesos de erosión hídrica con diversas manifestaciones: erosión en cárcavas (*gully erosion*), alteraciones subsuperficiales como formación y colapso de túneles (*piping / sapping*), flujo de lodos (*Sludge flow*) y suelos sepultados (*buried soils*) por depósitos superiores a los 50 cm de espesor. En la Figura N° 8 (a,b,c,d,e,f), se ilustran algunos de los procesos mencionados.



a. Flujo de lodos (sludge flow)



b. Flujo de lodos (sludge flow)



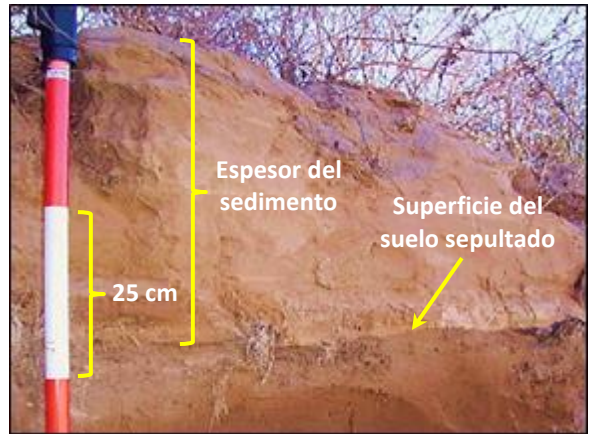
c. Cárcavas (gullying)



d. Colapso de túneles (piping / sapping)



e. Colapso de túneles (piping / sapping)



f. Suelo sepultado (buried soils)

Figura Nº 8 (a-f): Principales procesos de degradación en la cuenca hídrica de “El Morro”.

Según estudios impulsados desde el Gobierno de la provincia de San Luis la longitud acumulada de los cauces pasó de 840 km en 2006 a 1200 km en 2016.

Otras manifestaciones de degradación

Las actividades agropecuarias y el creciente grado de mecanización de las mismas, han originado en sectores de la cuenca, la compactación de los suelos. La aplicación del Sistema Soporte de Decisiones (SSD) MicroLEIS indica que la vulnerabilidad de los mismos es de 4 en un rango que oscila entre 0 y 6 (nula a máxima vulnerabilidad).

La prospección subsuperficial de los suelos mediante la utilización de un GPR (*Ground Penetrating Radar*) o georradar permitió obtener perfiles geoléctricos en diez transectas georreferenciadas de 200 metros cada una (Tabla N° 1), utilizando antenas de 200 MHz y 1 GHz adoptando una velocidad de propagación de ondas electromagnéticas entre 0.07 m/nseg y 0.08 m/nseg.

Transectas (0 - 200 m)	Coordenadas Geográficas		Antena empleada	Elevación media (m)
	Latitud (S)	Longitud (O)		
1	33° 18.620 S	65° 28.185 O	200 MHz	904,3
	33° 18.724 S	65° 28.217 O		
2	33° 18.635 S	65° 28.005 O	200 MHz	905,3
	33° 18.620 S	65° 28.135 O		
3	33° 18.372 S	65° 27.962 O	200 MHz	914,6
	33° 18.368 S	65° 28.090 O		
4	33° 23.565 S	65° 29.105 O	200 MHz	799
	33° 23.550 S	65° 29.233 O		
5	33° 23.303 S	65° 27.383 O	200 MHz	816,3
	33° 23.322 S	65° 27.255 O		
6	33° 23.438 S	65° 28.488 O	200 MHz	807
	33° 23.452 S	65° 28.358 O		
7	33° 31.617 S	65° 28.725 O	200 MHz	650
	33° 31.512 S	65° 28.733 O		
8	33° 35.385 S	65° 27.690 O	200 MHz	553,6
	33° 35.485 S	65° 27.640 O		
9	33° 39.620 S	65° 24.555 O	1 GHz	496,6
	33° 39.515 S	65° 24.523 O		
10	33° 39.525 S	65° 24.482 O	1 GHz	502
	33° 39.630 S	65° 24.513 O		

Tabla N° 1: Localización de transectas para la prospección geofísica de perfiles edáficos.

En algunos de los radargramas obtenidos, principalmente en el sector bajo de la cuenca, se apreciaron cambios estratigráficos asociados a la densificación de horizontes; la compactación fue luego verificada a campo en los primeros 20 cm, alcanzando en algunos

sectores más de 40 cm de profundidad. Las Figuras 9a y 9b, ilustran los perfiles geoelectricos correspondientes a las transectas 9 y 10.

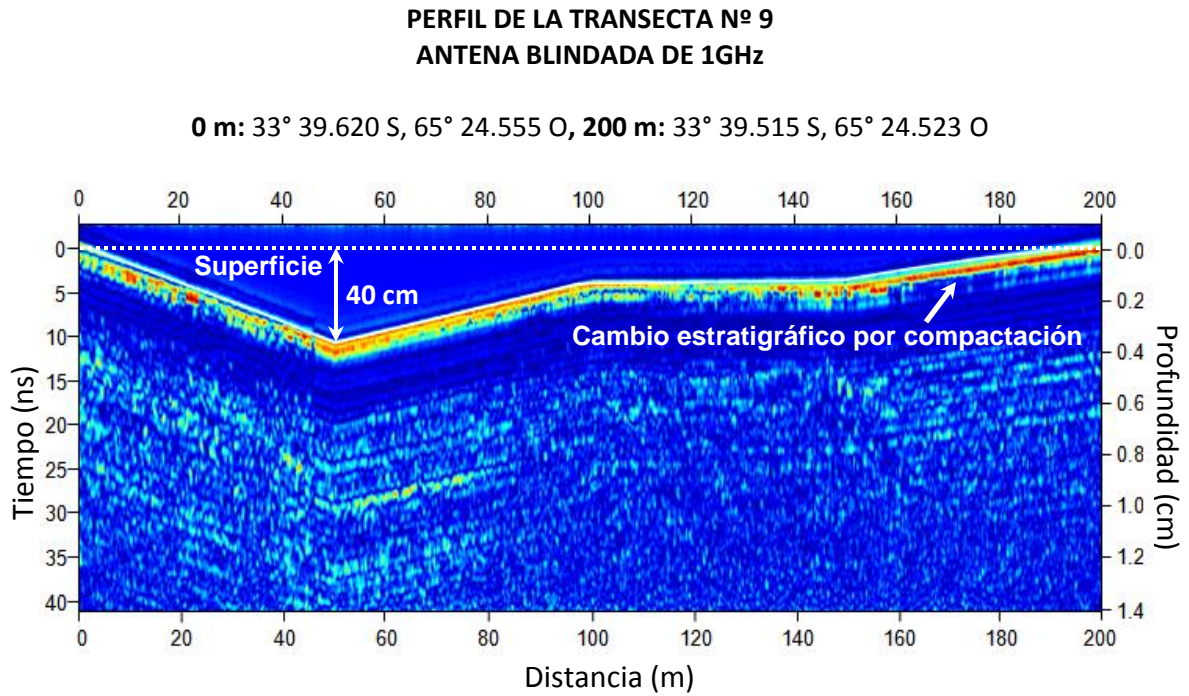


Figura 9a: Perfil geoelectrico de la transecta Nº 9 en la cuenca hídrica de "El Morro".

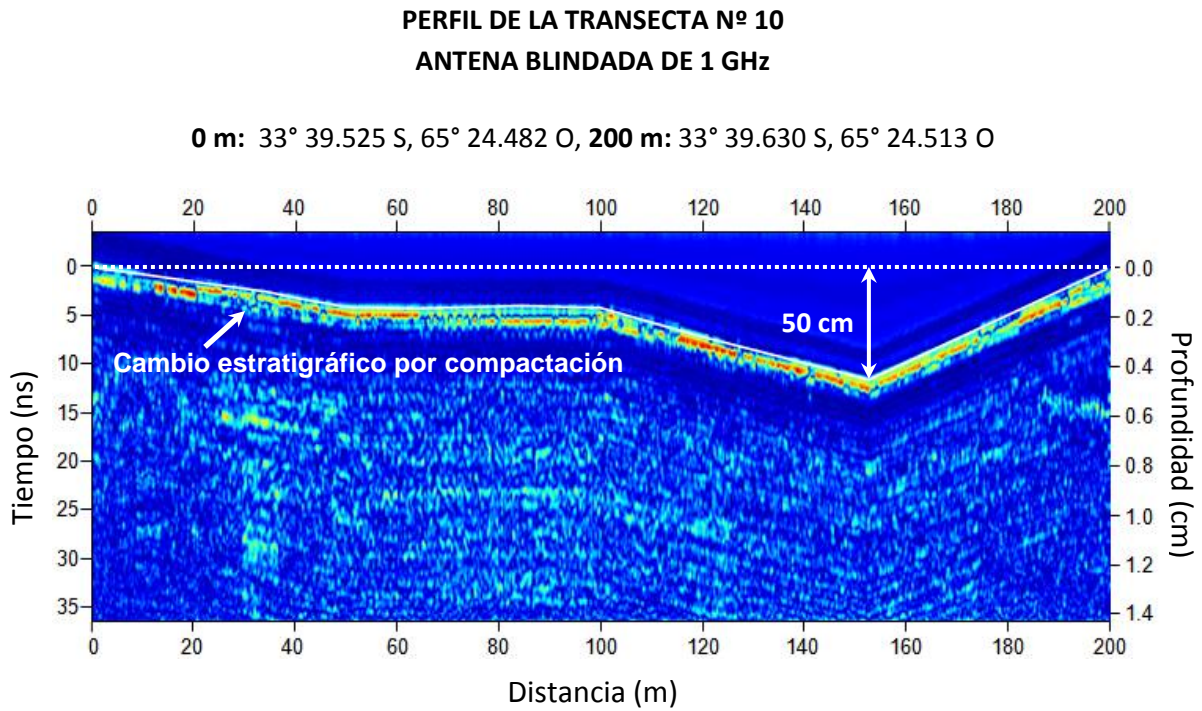


Figura 9b: Perfil geoelectrico de la transecta Nº 10 en la cuenca hídrica de "El Morro".

Conclusiones

El creciente proceso de expansión de la agricultura privilegia en ocasiones la rentabilidad a corto plazo, comprometiendo la sustentabilidad del desarrollo. La incorporación de tierras de menor aptitud ha sido favorecida por condiciones socioeconómicas y de mercado, cambios tecnológicos y modelos de producción, en ocasiones promovidos e implementados sin validación previa, por productores foráneos con escasa experiencia en el manejo de las zonas semiáridas o subhúmedas secas. En este contexto, el estado de los suelos motiva en ocasiones, un creciente pasivo ambiental. La existencia de suelos con limitaciones físico-químicas situados en áreas condicionadas por el clima (en especial las precipitaciones) explican la primera acepción de tierra marginal, por lo que debe restringirse la utilización de las mismas a su capacidad de uso; el laboreo de estas áreas marginales constituye un factor decisivo en la manifestación de diversas formas de degradación y ocasionalmente el posterior abandono de las explotaciones.

La cuenca hídrica de "El Morro" en la provincia de San Luis, Argentina evidencia un deterioro ambiental de gran magnitud debido a las intensas y diversas formas de erosión hídrica; siendo los perjuicios, en algunos sectores, irreversibles. Asimismo, en áreas más restringidas espacialmente, se observan procesos de erosión eólica, compactación y salinización de sus suelos.

Las actuaciones antrópicas sobre los recursos de este espacio geográfico (Presiones) han originado severos procesos de degradación con pérdidas económicas, perjuicios ambientales irreversibles asociados a la desertificación y conflictos sociales de magnitud (Estado). En este contexto, la reacción y reclamos sociales han inducido al gobierno de la provincia de San Luis a tomar medidas (Respuestas) que incluyen: la aprobación de una Ley de Emergencia Pública Ambiental, la aplicación de una Ley de Protección y Conservación de Suelos, un Plan de Forestación Intensivo de 6.125.000 árboles en 5 años para la estabilización hídrica de la cuenca, una capacitación intensiva sobre buenas prácticas agrícolas y la presentación de planes de manejo por parte de profesionales habilitados, entre otros compromisos.

No obstante, la vulnerabilidad y persistencia de los procesos de conversión territorial, requieren de mecanismos de adaptación y mitigación al cambio climático y de nuevos compromisos y abordajes multisectoriales, que derive en el ordenamiento hidrogeológico a efectos de regular los excesos hídricos y atenuar la formación de nuevos cursos de agua inducidos por procesos subterráneos de drenaje profundo. Es necesario además, con un enfoque interdisciplinario y en un marco jurídico apropiado la sanción de una Ley de Ordenamiento Territorial, que considere los aspectos ambientales, económicos y sociales, que favorezcan el desarrollo sostenible de este espacio geográfico.

Referencias

- . Barbeito, O., Beltramone C. y Contreras P., 2008. Hidrográfico El Morro, provincia de San Luis. Activación de procesos fluviales en el sistema. Resúmenes del Taller sobre Manejo sustentable del agua en Argentina, agua superficial y subterránea, Mendoza, 2008.
- . Barbeito, O., Beltramone, C., Ambrosino, S., Contreras, P., Quintana Salvat, F. y Barrera, F., 2009. Proyecto “Estudio Geomorfológico de la cuenca de El Morro”, Departamento Pedernera, San Luis, Instituto Nacional del Agua (INA), 56 p.
- . Sáenz, C.A. Colazo, J. C., Rusoci, N. y Colazo, J. C., 2016. Balance hídrico de diferentes escenarios en la cuenca el morro. Información Técnica 192. EEA San Luis. ISSN 0327-425X, 20p.
- . Collado, A. D., Galván, M.J. y Mas, E.G., 2015. Desertificación en la Cuenca Hídrica de “El Morro”, provincia de San Luis. El modelo PER. XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (XXV CACS). Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (AACS), Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC), Argentina.
- . Consejo Provincial de Ciencia, Técnica, Desarrollo e Innovación, Gobierno de la provincia de San Luis, 2015. Comisión de Trabajo sobre la cuenca de El Morro. Los nuevos cursos de agua en la cuenca de “El Morro”: descripción del proceso y pautas para su gestión, 23 p.
- . De la Rosa D. (Coord.), 2002. MicroLEIS.com. <http://www.microleis.com>
- . Galván, M.J., Collado, A.D., 2009. Esgurrimientos Hídricos Superficiales en la Cuenca Hidrográfica de “El Morro”, Provincia de San Luis. INTA, EEA San Luis. Información Técnica N° 175, ISSN 0327-425X, 61 p.
- . Santoni, C.S., 2012. Circulación vertical del agua y su relación con la vegetación en zonas áridas y semiáridas, Tesis Doctoral, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires (UBA), 132 p.
- . Sosic, M. V. J., 1964. Descripción Geológica de la Hoja 24h – Sierra del Morro. Boletín N° 95, Dirección Nacional de Geología y Minería, 44 p.