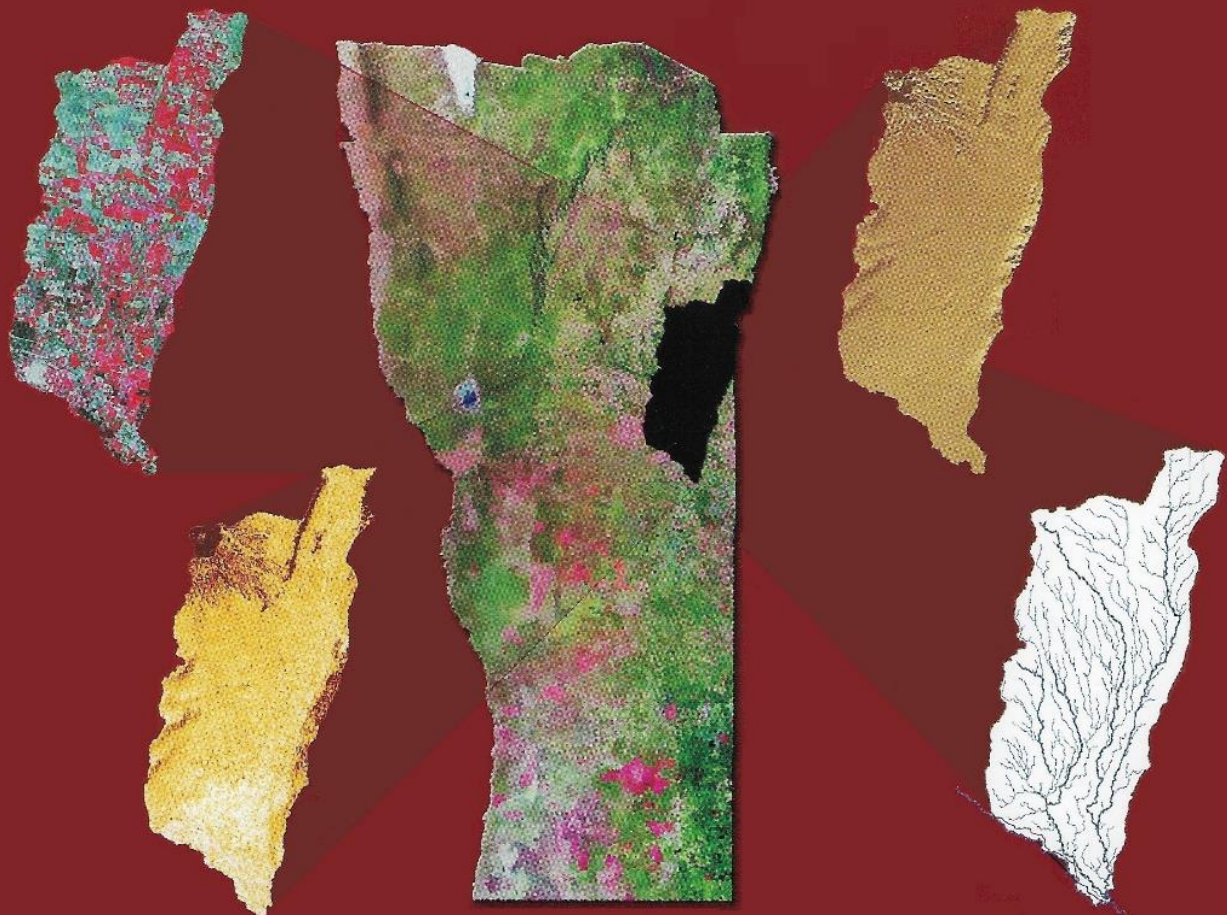


Escurremientos hídricos superficiales en la Cuenca Hidrográfica de "El Morro", provincia de San Luis

Galván, Mario J.; Collado, Alfredo D.

Estación Experimental Agropecuaria San Luis
Centro Regional La Pampa-San Luis



■ Ediciones

Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



INTA, EEA SAN LUIS. INFORMACIÓN TÉCNICA N° 175
ISSN 0327-425X

INTA, EEA SAN LUIS
Casilla de Correo 17
5730 - Villa Mercedes - San Luis, Argentina
Tel. (02657) 422616/ 423249/ 433250
e-mail: esanluis@sanluis.inta.gov.ar

Reproducción: 300 ejemplares

DIRECTOR:

Ing. Emilio Güerri

DIAGRAMACIÓN:

Luz Lardone
EEA San Luis

AUTORES: GALVÁN, Mario J. y COLLADO, Alfredo D.

Escurrimientos Hídricos Superficiales en la Cuenca Hidrográfica de “El Morro”, Provincia de San Luis.

Información Técnica N° 175, 57 Pág.

ÍNDICE

Prólogo.....	Pág. 4
Agradecimientos.....	Pág. 5
Resumen.....	Pág. 6
Abstract.....	Pág. 6
Introducción.....	Pág. 7
Antecedentes en la provincia de San Luis.....	Pág. 9
Objetivo general.....	Pág. 11
Objetivos específicos.....	Pág. 11
Área de estudio.....	Pág. 11
Clima.....	Pág. 12
Cobertura vegetal.....	Pág. 13
Suelos.....	Pág. 15
Condiciones hidrodinámicas del sistema.....	Pág. 17
Infiltración, humedad y erosión hídrica.....	Pág. 18
Balace hídrico.....	Pág. 21
Materiales y métodos.....	Pág. 21
El Método Pfafstetter.....	Pág. 27
Morfometría.....	Pág. 29
Cambios de uso del suelo y estructura del paisaje.....	Pág. 37
Consecuencias ambientales.....	Pág. 38
REDLACH. El desarrollo de las cuencas hidrográficas a nivel nacional y regional.....	Pág. 46
Objetivos de una red de cuencas.....	Pág. 46
Modalidad de acción de una red nacional de cuencas.....	Pág. 47
Marco jurídico a nivel nacional.....	Pág. 48
La legislación en la provincia de San Luis.....	Pág. 48
Consejo Interprovincial de Ministros de Obras Públicas (CIMOP). La visión de la Cuenca del Río Quinto.....	Pág. 49
Cuenca “El Morro”: situación actual y líneas futuras de investigación.....	Pág. 49
Conclusiones.....	Pág. 50
Lista de siglas empleadas.....	Pág. 52
Bibliografía.....	Pág. 53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localización relativa del área de estudio.....	Pág. 12
Figura 2: Caracterización de las precipitaciones en V. Mercedes. Período 1903-2009.....	Pág. 12
Figura 3: Tendencia de las precipitaciones en V. Mercedes. Período 1903-2009	Pág. 13
Figura 4: Cobertura del suelo y riesgo de erosión hídrica.....	Pág. 14
Figura 5: Distribución espacial de incendios rurales en la cuenca. Período junio 2006 / enero 2010.....	Pág. 15
Figura 6: Erosión hídrica en un lote con siembra directa en la cuenca de “El Morro”.....	Pág. 16
Figura 7: Evolución de escurrimientos superficiales en el período 1961-2007....	Pág. 17
Figura 8: Flujos subsuperficiales y manifestación superficial (escorrentías).....	Pág. 19
Figura 9: Erosión hídrica en cárcavas en proximidades a Villa Mercedes.....	Pág. 19
Figura 10: Sedimentos sobre la Ruta Nacional 8 próximo a Villa Mercedes.....	Pág. 20
Figura 11: Espesor de sedimentación en suelos de la cuenca de “El Morro”.....	Pág. 21
Figura 12: Mapa topográfico derivado de la imagen SRTM, delimitación de la cuenca y perfil altimétrico.....	Pág. 23
Figura 13: Mapa de pendientes.....	Pág. 24
Figura 14: Determinación de patrones de escurrimiento superficial procedimiento Runoff (sin considerar obras civiles).....	Pág. 25
Figuras 15: Determinación de patrones de escurrimiento superficial procedimiento Runoff (considerando obras civiles).....	Pág. 26
Figuras 16: Codificación de microcuencas según el Método de Pfafstetter.....	Pág. 28
Figuras 17 A: Morfometría microcuencas 02/ 03/ 041 (Tabla asociada).....	Pág. 30
Figuras 17 B, C, D: Morfometría microcuencas 042/ 044 /045 (Tabla asociada)	Pág. 31
Figuras 17 E, F, G: Morfometría microcuencas 042/ 044 /045 (Tabla asociada)	Pág. 32
Figuras 17 H, I, J: Morfometría microcuencas 0468/ 047/ 048 (Tabla asociada).	Pág. 33
Figura 17 K, L, M: Morfometría microcuenca 049 (Tabla asociada).....	Pág. 34
Figura 18: Subcuencas codificadas por el Método de Pfafstetter y patrón de drenaje.....	Pág. 36
Figura 19: Cambios de uso y cobertura del suelo en la microcuenca 0642. Período 1962-2008.....	Pág. 37
Figura 20: Evaluación multitemporal y detección de cambios en la microcuenca 0642. Período 1962-2008.	Pág. 39
Figura 21. Evaluación multitemporal y detección de cambios en la microcuenca 044. Período 2007-2009.....	Pág. 40
Figura 22 A, 22 B: Morfometría subcuencas 1 y 2 y coeficientes morfométricos	Pág. 41
Figura 22 C: Cuenca “El Morro” y morfometría.....	Pág. 42
Figura 23: Caracterización del patrón de drenaje considerando obras de ingeniería para la gestión de la cuenca.....	Pág. 43
Figura 24: Ruta de vuelo para la verificación y validación cartográfica.....	Pág. 44
Figura 25: Detalles de la ruta de vuelo.....	Pág. 45

PRÓLOGO

El concepto de Desarrollo en el INTA, se concibe desde tres perspectivas: competitividad, salud ambiental y equidad o inclusión social; teniendo en cuenta que cada uno de estos aspectos requiere de estudios y consideraciones específicas.

En este contexto, la problemática de la cuenca hidrográfica de “*El Morro*”, representa problemas ambientales debido a procesos de erosión hídrica que responden a un conjunto de causas cuyo abordaje resulta impostergable.

La Estación Experimental Agropecuaria San Luis del INTA, movilizada por este interés, ha facilitado el desarrollo de actividades, la generación de información, su intercambio y la promoción de la cooperación técnica entre diversos organismos de distinto carácter: provincial como el Ministerio del Campo, municipal como Defensa Civil, comunidad científica, organizaciones de productores y consorcios de cuencas; en un marco de discusión conceptual y metodológico, aplicable al manejo y conservación de cuencas hidrográficas.

Como resultado del estudio de estos procesos, surge la posibilidad de la presente publicación, cuyo espíritu consiste en difundir y aportar algunos conocimientos y experiencias adquiridas en la Cuenca de “*El Morro*”, obtenidas a partir del uso de Geotecnologías e información complementaria de campo, con la confianza de que estas experiencias puedan ser enriquecidas por estudios posteriores y ser extrapoladas a otras cuencas, subcuencas o microcuencas.

Estas circunstancias alientan a la EEA San Luis a fortalecer y consolidar el proceso de capacitación, vinculación, intercambio y cooperación a todo nivel y alentar estrategias de desarrollo regional en un marco productivo sostenible.

Ing. Agr. Emilio Güerri
Director EEA San Luis, INTA

AGRADECIMIENTOS

Al Programa Nacional de Ecorregiones del INTA y a su Coordinador, Ing. Héctor Daniel Ligier. Al Proyecto Específico del Programa, el *PNECO 1302* sobre “Evaluación de impactos ambientales en ecosistemas y categorización de tecnologías de gestión” a cargo del Dr. Néstor Oscar. Maceira, por permitir la adquisición de la Estación Total *FOIF OTS600* e instrumental complementario, proveer parte de la infraestructura del Laboratorio de Geomática, Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Estación Experimental Agropecuaria San Luis, apoyar diversas actividades de campo y financiar la presente publicación.

A la V Brigada Aérea de Villa Reynolds, dependiente de la Fuerza Aérea Argentina (*FAA*), por facilitar las fotografías aéreas para el reconocimiento, caracterización y verificación de resultados en sectores de difícil acceso en el área de estudio.

Al Instituto Nacional del Agua (*INA*), y al Ministerio del Campo del Gobierno de la Provincia de San Luis por establecer ámbitos de debate en este campo de estudio y compartir resultados obtenidos en investigaciones complementarias.

RESUMEN

La erosión de cuencas hidrográficas y su degradación es uno de los problemas medioambientales más complejos a nivel mundial, del cual existen numerosos métodos para su predicción.

El trabajo se lleva a cabo en la cuenca hidrográfica de "El Morro", en el Departamento General Pedernera, provincia de San Luis, localizada entre los 65° 31' 13" LO y 33° 49' 06" LS y los 65° 02' 36" LO y 33° 02' 37" LS.

El diagnóstico de la situación actual de la cuenca se realizó sobre la base de: a) una evaluación cualitativa, por un relevamiento a campo con apoyo de imágenes satelitales y fotografías aéreas, de aspectos tales como drenaje, clima, paisaje, suelo, geología y cambios de uso y cobertura de la tierra, y b) un diagnóstico cuantitativo basado en la aplicación de los modelos hidrológicos *Watershed y Runnof*.

El análisis permitió verificar un inadecuado uso del suelo y de la pendiente, fomentando una potencial devaluación económica y productiva de los recursos suelo y agua.

Palabras clave: subcuenca hidrográfica, cambio de uso del suelo, evaluación ambiental, San Luis, Geotecnologías.

ABSTRACT

The erosion of watersheds and its degradation are one of the most complex environmental problems worldwide and there are numerous methods for their prediction.

This work is developed in the "Morro" watershed, General Pedernera Department, San Luis Province, situated at 65° 31' 13" WL; 33° 49' 06" SL and 65° 02' 36" WL; 33° 02' 37" SL.

The present situation diagnosis is developed on: a) a qualitative assessment in the field, supported by satellite images and aerial photographs of drainage, climate, landscape, soil, geology and land use / land cover change; and b) a quantitative diagnosis with the application of the hydrological model *Watershed and Runnof*.

The analysis, showed an inapropiated use of land and slopes, with a potential economic and productive downgrading of soil and water resources.

Key words: watersheds, land use change, environmental assessment, San Luis, Geotecnologies.

INTRODUCCIÓN

La desagregación, transporte y sedimentación de las partículas del suelo por las gotas de lluvia y el escurrimiento superficial definen el proceso de erosión hídrica, el cual está condicionado por factores como el clima, el suelo, la vegetación y la topografía.

Las contingencias climáticas tienen un papel importante en la erosión hídrica, siendo las precipitaciones, tanto en su intensidad como en su duración, el elemento desencadenante del proceso. No obstante, la relación entre las características de la lluvia, la infiltración, el escurrimiento y la pérdida de suelo, es muy compleja.

Algunas características del suelo como su agregación, su textura, su capacidad de infiltración, entre otras, afectan su erosionabilidad.

Si bien la influencia de la vegetación sobre la erosión hídrica, varía con la época del año, cultivo, grado de cobertura y desarrollo de raíces entre otros aspectos, podemos considerar que su efecto se relaciona directamente con la intercepción, velocidad de escurrimiento e infiltración. La topografía influye en el proceso a través de la pendiente, debiéndose considerar su longitud, magnitud y forma.

La erosión hídrica, representa uno de los principales factores de desertificación, debido a su repercusión en la productividad de la tierra; y sus manifestaciones a nivel mundial (*FAO/PNUMA, 1984*).

El análisis del fenómeno, ha sido abordado a diversas escalas, que van desde el estudio de cuencas, (áreas que no reciben drenaje de ninguna otra área, pero si contribuyen con su flujo a otra unidad de drenaje a través del curso del río al cual confluye), subcuencas y microcuencas.

Existen diversas percepciones para la definición de cuencas, subcuencas y microcuencas en función de la dimensión territorial de los países. Resulta interesante el concepto de que una cuenca hidrográfica puede dividirse de diferentes maneras, atendiendo al grado de concentración de la red de drenaje, definiendo unidades menores como subcuencas y microcuencas. Bajo esta consideración, subcuenca es toda área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de la cuenca. En consecuencia, varias subcuencas pueden conformar una cuenca.

En este contexto, puede considerarse como microcuenca a toda área que desarrolle su drenaje directamente al curso principal de una subcuenca, debiendo adaptarse a otras consideraciones físicas, naturales o socio económicas.

Desde esta percepción puede considerarse la microcuenca como unidad, cuando cubre un área cuya superficie oscila entre 1.000 y 50.000 ha, subcuenca cuando su dimensión varía entre 50.000 y 200.000 ha y cuenca cuando su extensión supera las 200.000 ha (*Faustino y Jiménez, 2000*).

Resulta importante enfatizar que la microcuenca debe ser considerada como un ámbito de planificación bajo un enfoque social, económico y operativo, además del enfoque territorial e hidrológico tradicionalmente considerado. Al considerar la microcuenca como un ámbito de planificación y ejecución de acciones, no se desestima el predio o parcela de producción en este proceso. La misma sigue siendo la unidad primaria en la toma de decisiones del medio rural y toda acción que se planifica es efectivamente implementada a este nivel. El concepto precedente implica que lo que se planifica a nivel de la microcuenca, necesita coordinarse con lo que planifica cada productor/a individualmente, a nivel de predio. (<http://www.rlc.fao.org/es/tierra/micro.htm>).

Respecto a las microcuencas, los procesos erosivos por acción del agua han sido evaluados y comparados en México a partir de diversos métodos: directo y mediante la ecuación *RUSLE - Revised Universal Soil Loss Equation* (*Pando Moreno et al., 2003*).

También existen numerosos precedentes sobre aplicación de modelos hidrológicos y modelos de erosión a nivel de parcelas (*Kirkby, 2001*), que tratan la problemática de la erosión en conexión con diversos modelos como *WEPP* (*Flanagan y Laflen, 1997*),

EUROSEM (*Morgan et al., 1997*), MEDALUS (*Kirdby et al., 1998*), LISEM (*De Roo y Jetten, 1999*), SHETRAN-SHESED (*Burton and Bathurst, 1998*), GLEAMS (*Nicks, 1998*), EPIC (*Williams, 1994*), GUEST (*Rose et al., 1998*), SWAT (*Gómez Jiménez et al., 2007*), ANSWER, AGNPS, (*Narayanan, 2002*). Por su uso a nivel regional, destacan Watershed, Hec-GeoHMS, Hec-HMS, HEC-RAS y GeoRAS (*Nanía y Gómez, 2006; Nanía Escobar et al., 2009*).

En ocasiones, los estudios han sido restringidos a parcelas experimentales localizadas según criterios litológicos y fisiográficos como pendiente, cobertura vegetal y procesos predominantes (*Sirvent et al., 1996*), en cauces provistos de aforos para estimar grados de erosión variable (*Gómez Amelia, D. y Schnabel, S., 1996*) e incluso para determinar la relación entre la erosión hídrica superficial y la distribución de la pérdida de calcio, magnesio y potasio del suelo (*Gaspari, F.J., Vázquez, M. y Lanfranco, j., 2006*).

Investigaciones complementarias, han establecido índices para conocer el estado de degradación o la salud del suelo. Así, para conocer el estado físico se han establecido el Índice de Erosión (*IE*) para caracterizar el estado físico de suelos sometidos a distintos usos y manejos, midiendo la cantidad de gramos de suelo perdidos por erosión por cada mm de lluvia. También se ha desarrollado el Índice de Sellado (*IS*), para evaluar la reducción en la infiltración del agua, aumentando el escurrimiento y la erosión. El Índice de sellado es un indicador global de la condición físico-química de un suelo ya que es la resultante del contenido de materia orgánica, textura, estructura y estabilidad de agregados, entre otros. Su valor es superior a uno y será mayor cuando más inestable o degradada sea la condición del suelo (*Michelena e Irurtia, 2003*).

En este orden, otros estudios se han orientado a determinar el balance de sedimentos, a escala temporal anual, que permita establecer el orden de magnitud de los procesos de sedimentación a largo plazo (*Basile et al., 2005*).

Otras investigaciones, han empleado modelos de simulación hidrológica para evaluar la capacidad predictiva mediante la comparación de los escurrimientos medidos y los simulados (*Torres-Benites, 2005*) o Sistemas de Apoyo a la Decisión (*Decision Support Systems - DSS*), para la evaluación de la vulnerabilidad agro-ecológica de las mismas frente a la erosión hídrica, para definir diversos escenarios de evaluación (*de la Rosa et al., 2002*).

Fernandes y Silva (1994), afirman que la subdivisión de una cuenca hidrográfica de mayor orden en microcuencas, permite puntualizar problemas difusos facilitando la identificación de focos con deterioro ambiental.

Recientemente (*Rodrigues Torres et al., 2008*), efectuaron en Brasil una caracterización morfométrica de cuencas como indicadores de calidad ambiental.

Otras referencias, aluden a la estructura hidrológica del paisaje, producto de la integración de la ecología del paisaje con la hidrología como base de análisis para la gestión integral del recurso hídrico, siguiendo los principios ecológicos y las particularidades de los fenómenos hidrológicos. También, se mencionan las ventajas sobre la implementación de un enfoque ecosistémico que implica integrar en el proceso de gestión ambiental a todos los actores involucrados y procurar el equilibrio entre sus intereses, a través de la participación, responsabilidad compartida y uso de todas las formas del conocimiento (*Andrade Pérez y Navarrete Le Blas, 2004*).

No obstante, el advenimiento de las Geotecnologías, representadas por información detectada mediante sensores remotos diversos, los Sistemas de Información Geográfica (*SIG*) y los Sistemas de Posicionamiento Global - *GPS (Global Positioning System - GPS)*, han permitido el análisis espacio-temporal de cuencas hidrográficas en otra dimensión territorial.

Así, la utilización de información satelital de tipo "Quick Look" provistas por la CONAE, fueron utilizadas para la actualización de la cartografía hídrica en la República Argentina (*Ludueña y Giraut, 2000*).

Otras investigaciones, con el propósito de identificar áreas de alto riesgo de erosión hídrica en el manejo de cuencas hidrográficas, han obtenido mapas de riesgo utilizando el modelo *USLE* con apoyo de *SIG* (Orúe et al., 2007).

Otros enfoques estiman la influencia del factor topográfico en la distribución espacial del riesgo de degradación de los suelos por la erosión hídrica a partir de Modelos Digitales del Terreno (*MDT*); (Bosque Sendra, 1994; Quiñónez y Dal Pozzo, 2005).

Enfoques asociados, han utilizado Modelos de Elevación Digital - *MED* (*Digital Elevation Model - DEM*) a partir de los cuales se han obtenido mapas con atributos topográficos y mapas de escorrentía en microcuencas (Cantón Castilla, Y., 1999). Gran parte de estos *MED* han sido confeccionados a partir de imágenes *ASTER - Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (Oñate Valdivieso, 2007), o del radar *SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission)* a múltiples escalas mediante el Proyecto *HydroSHEDS - Hydrological data and maps based on Shuttle Elevation Derivatives at multiple Scales* (Lehner, B., 2005), o restringiendo el análisis cuencas hidrográficas específicas (Maathuis, B.H.P., 2006; Dahlke, H et al., 2005).

Otros investigadores, han recurrido para el estudio de cuencas a otro tipo de información provista por el sensor *CBERS (China-Brasil Earth Resources Satellites)*. Recientemente, en la Asamblea General de Naciones Unidas y en el seno de la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos, el representante chino presentó a la serie *CBERS-2, CBERS-2B, CBERS-3 y CBERS-4* desarrollados para este fin (Naciones Unidas, 2007).

Numerosos estudios resaltan el uso de los *MDT*, los *SIG* y la aplicación de filtros direccionales para destacar el flujo de las escorrentías (Moglen, G.E. y Maidment, D.R., 2005).

Las investigaciones sobre cuencas hidrográficas en diversos países y a diversa escala de trabajo, denotan una gran preocupación y sugieren analizar el pago por servicios ambientales (*PSA*) de las mismas. El *PSA*, representa un mecanismo orientado al pago o compensación directa por el mantenimiento o provisión de un servicio ambiental, por parte de los usuarios del servicio. Los *PSA* en cuencas hidrográficas normalmente se concentran en los servicios hídricos, la disponibilidad y/o calidad del agua (FAO/REDLACH, 2004). En este sentido, en los últimos años se ha suscitado un alto nivel de apoyo político al manejo de las cuencas hidrográficas como asunto de interés mundial (Jeffrey, 2007).

En cualquier caso, se torna imprescindible generar conocimientos científicos sobre las distintas consecuencias que generan las transformaciones humanas del territorio, tanto en el ámbito social, económico como ambiental. La información para decidir acerca de la organización del territorio deberá incluir una consideración individual de las distintas dimensiones mencionadas, sin descuidar sus interacciones (Paruelo et al., 2006).

ANTECEDENTES EN LA PROVINCIA DE SAN LUIS

Anderson (1985), se refiere a los problemas de sedimentación de los diques de la provincia de San Luis debido a una carencia en el manejo de las cuencas receptoras de precipitaciones aguas arriba de los diques. Según el autor, ya en ese año se percibía hasta un 60 % de pérdida en el volumen de almacenamiento, debido a la creciente presencia de sedimentos en el fondo y orillas de los mismos. Para reducir el fenómeno señala como primera prioridad el manejo adecuado e integral de las cuencas hidrográficas en la provincia de San Luis y sugiere medidas para incrementar la capacidad de infiltración en los sectores superiores de una cuenca.

Peña Zubiarte y d'Hiriart (1985), establecieron y cartografiaron los grados de erosión hídrica utilizando técnicas fotoanalíticas y determinando superficies afectadas según el grado de erosión.

Ese mismo año y ante las intensas precipitaciones registradas en el mes de julio y el anegamiento que sufrieron numerosos campos, el gobierno provincial declaró la emergencia agropecuaria en la zona, según el Decreto N° 1299/85 y posteriormente el desastre agropecuario provincial mediante el Decreto N° 2038/85, sobre un área aproximada de 55.000 has, en establecimientos agrícolas-ganaderos de la localidad de Juan Jorba y adyacencias. Meses más tarde también se declaró en el ámbito nacional el “Desastre Agropecuario” en dicha zona.

Ante esta situación, la Dirección Provincial de Agricultura de San Luis, encomendó un relevamiento de la zona afectada, al este de Villa Mercedes, delimitada por el área de Juan Jorba. *Echevarría (1985)*, concretó el estudio y alertó sobre la salinización de los suelos por ascenso del nivel freático y corrientes de agua que se originan en la parte norte de la zona de estudio; destacando además la erosión en superficie y el origen de cárcavas de gran magnitud de unos nueve metros de ancho por cuatro de profundidad al sur de la citada localidad.

El autor en su informe, se refiere a un ascenso en el nivel freático aún sin lluvias, e infiere una recarga de agua en la zona alta de la subcuenca, en un sector no comprendido en el citado estudio.

En enero de 1986, la Fuerza Aérea Argentina, al ver los riesgos en su predio de Villa Reynolds, encomienda un estudio a la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE); actual Comisión Nacional de Actividades Espaciales de Argentina (CONAE), quien realizó la interpretación de información satelital para caracterizar las escorrentías. Información intersectorial y datos complementarios de campo permitieron establecer que al este de la Sierra de Comechingones, se apreciaba gran cantidad de sales, sulfatos y presencia de arsénico, que disminuían considerablemente hacia el oeste, lo que suponía un origen diferenciado de las aguas.

Estas observaciones previas, evidenciaron la necesidad de contar con mapas topográficos de nivel detallado no disponibles en esa instancia. Posteriormente, aún con la persistencia del problema, no se profundizaron este tipo de estudios, hasta que durante los últimos años, diversas circunstancias recrudecieron el fenómeno que afectó a miles de hectáreas, produjo cárcavas de gran magnitud y escorrentías con enorme cantidad de sedimentos que anegaron las Rutas Nacionales 7 y 8, situación que derivó en un plan de emergencia elaborado por Vialidad Nacional, presupuestada en torno a los 15.000.000 de dólares (*Jofré, 2008, Diario Crónica de San Luis, 2009*).

Otros estudios (*Barbeito et al., 2008*), han reforzado el análisis sobre investigaciones en la activación de procesos fluviales en el sistema hidrográfico de la cuenca “El Morro”, San Luis. En base al avance del estudio realizado se desprende que como factor condicionante, se destacan las particularidades geológicas y geomorfológicas determinantes de la cercanía histórica del nivel freático a la superficie y como factores condicionantes, el progresivo aumento de las precipitaciones en los últimos 20 años y el uso actual de la tierra.

La media anual sufrió un aumento de 500 a casi 700 mm y gran parte de la cubierta original de bosque xerófilo (caldenes, y familias asociadas a la misma), fue eliminada o fuertemente alterada para el laboreo e implantación de cultivos, lo que trajo aparejado un cambio en la relación infiltración-escorrentía y en la evapotranspiración.

Entre el factor desencadenante principal de orden antrópico, se destaca el efecto de retención de la dinámica hídrica que generan en primer término la ruta Nacional N° 8 y en segundo término, la ruta nacional N° 7 y los trasvases realizados en el sistema mediante canalización.

Puede decirse que los procesos detectados están aún en un estado incipiente, y que de no tomarse las medidas correctivas necesarias, en particular el restablecimiento de la hidrodinámica natural (eliminación de trasvases y adecuadas obras viales de desagüe), estos pueden derivar en una situación irreversible.

Este conflicto ambiental de larga historia, agravado en la actualidad, impulsó al Laboratorio de Geomática, Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Estación Experimental Agropecuaria San Luis del INTA, a retomar las investigaciones a escala regional, en el marco y con la asistencia del Proyecto Específico (*PNECO 1302*), sobre “Evaluación de Impactos ambientales en Ecosistemas y Categorización de Tecnologías de Gestión” en el ámbito del Programa Nacional de Ecorregiones. La disponibilidad de imágenes satelitales captadas por diversos sensores e información de campo adicional, georreferenciada, alentaron y permitieron concretar el presente estudio.

OBJETIVO GENERAL

- Caracterizar y diagnosticar el estado actual de la cuenca hidrográfica de “*El Morro*” en base a Geotecnologías, información complementaria de campo actualizada y antecedentes previos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar, analizar y evaluar la información disponible, detectando vacíos de información.
- Efectuar un análisis espacio - temporal a partir de fotografías aéreas, imágenes *LANDSAT*, *MODIS TERRA* Y *C-BERS*.
- Confeccionar la Cartografía Topográfica (Modelo Digital del Terreno - *MDT*) a partir de imágenes *SRTM* proporcionadas por la Misión Topográfica “*Radar Shuttle*”.
- Elaborar la cartografía temática a partir de procedimientos informáticos específicos para delimitar la cuenca, subcuencas y microcuencas, para caracterizar el patrón de escorrentías superficiales (patrón actual y potencial).
- Procurar la articulación y complementación técnica entre diversos organismos provinciales vinculados al manejo de cuencas, subcuencas y microcuencas hidrográficas, discutiendo problemas, unificando criterios y estrategias de desarrollo.
- Orientar el desarrollo integrado y sostenible, con criterios de eficacia y equidad.
- Generar alternativas de acción técnicamente viables y políticamente factibles para que sean tomados como elementos efectivos de decisión.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio con 212.982 ha, se localiza en el Departamento General Pedernera, situado en la porción Noreste de la provincia de San Luis y corresponde a la cuenca hidrográfica de “*El Morro*”, integradora de un sistema hidrológico mayor como el del río Quinto, el principal recurso hídrico de la región. La misma se extiende desde La Sierra de “*El Morro*” al norte, la ruta provincial N° 1 al este, la Autopista N° 55 (ex 148) y la rivera noreste del río Quinto.

El cierre del área de drenaje se encuentra aproximadamente a unos 25 Km. de la localidad de Villa Mercedes. En este ambiente, la cuenca no presenta desagües al océano y es por tanto endorreica.

Este espacio geográfico está comprendido entre los 65° 31' 13" de Longitud Oeste; 33° 49' 06" de Latitud sur y los 65° 02' 36" Longitud Oeste; 33° 02' 37" de latitud sur. La altimetría, obtenida del Modelo Digital de Elevaciones o *DEM (Digital Elevation Model)*

proporcionado por el Sensor *SRTM*, denota alturas que varían entre los 428 msnm y los 1712 msnm. La Figura N° 1, indica la localización relativa del área de estudio.

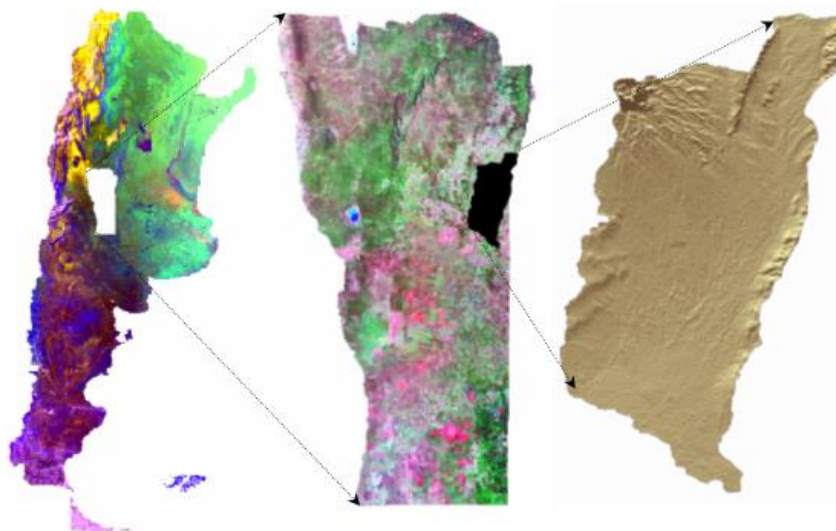


Figura 1: Localización relativa del área de estudio.

CLIMA

Resulta de interés en este contexto, el régimen de precipitaciones. Con este fin se analizaron los registros obtenidos en la EEA San Luis (Villa Mercedes) para el período 1903-2009, representativos del régimen pluviométrico que afecta la cuenca.

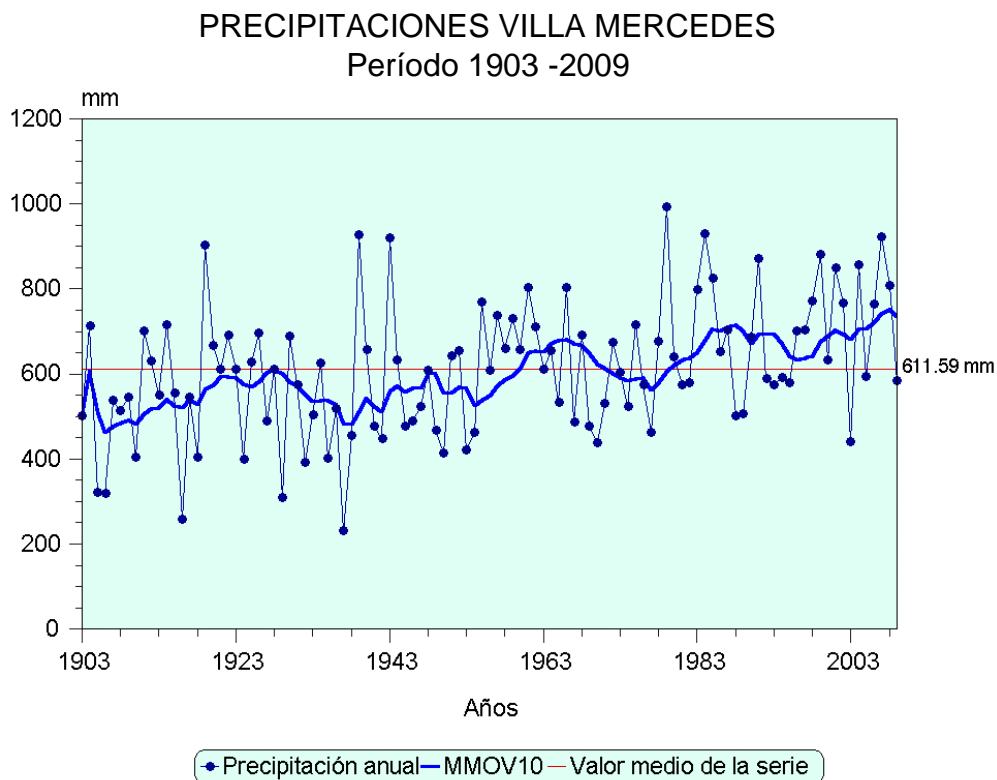


Figura 2: Caracterización de las precipitaciones en V. Mercedes. Período 1903-2009.

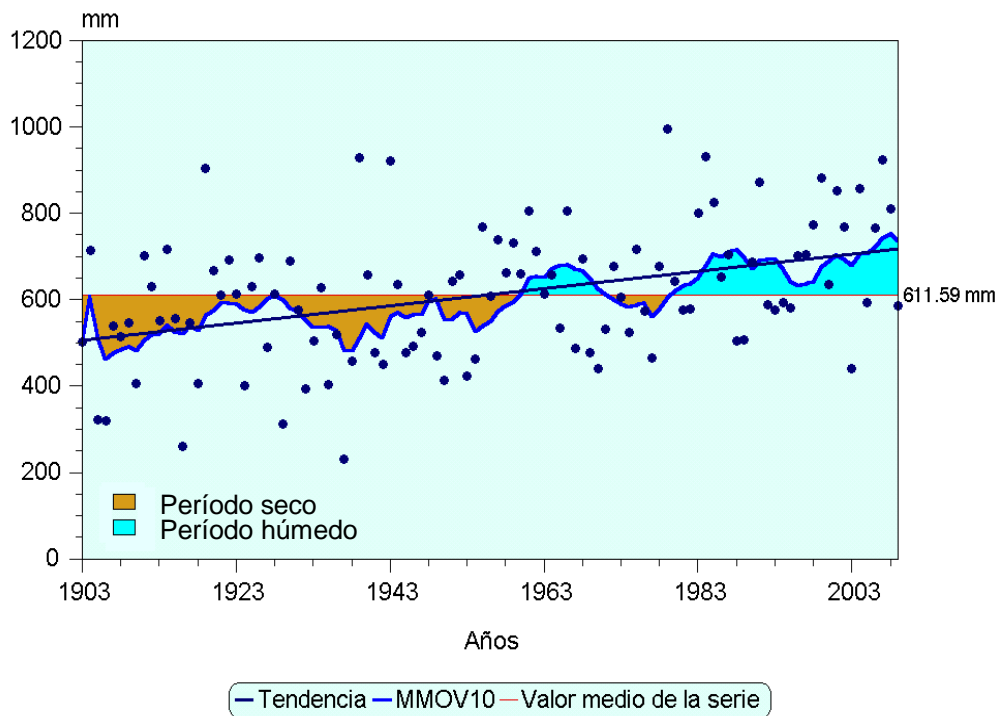


Figura 3: Tendencia de las precipitaciones en V. Mercedes. Período 1903-2009.

La tendencia creciente de las precipitaciones en los últimos años derivó en un ascenso del nivel freático respecto de los años anteriores a la década del 80. Es posible considerar entonces una relación directa entre incrementos de las precipitaciones y ascenso del citado nivel.

COBERTURA VEGETAL

Las tasas de escorrentía y erosión aumentan en relación inversa a la cobertura vegetal. La vegetación disipa la energía de las gotas de lluvia, aumenta la permeabilidad del suelo y retarda la velocidad del escurrimiento superficial.

La cobertura de la superficie de la cuenca es determinante de los niveles de evapotranspiración que en ella suceden. El progresivo reemplazo de la cobertura natural por parcelas productivas tiende a disminuir los niveles normales de evapotranspiración por lo tanto habrá mayor cantidad de agua disponible para el escurrimiento superficial y la infiltración; si la segunda es limitada se tiene una tendencia positiva para los caudales de escurrimiento superficial.

Igualmente se aprecia una relación inversa entre el porcentaje de cobertura del suelo y el grado de erodabilidad o propensión a la erosión hídrica (Figura 4).

Cobertura del Suelo y Riesgo de Erosión Hídrica

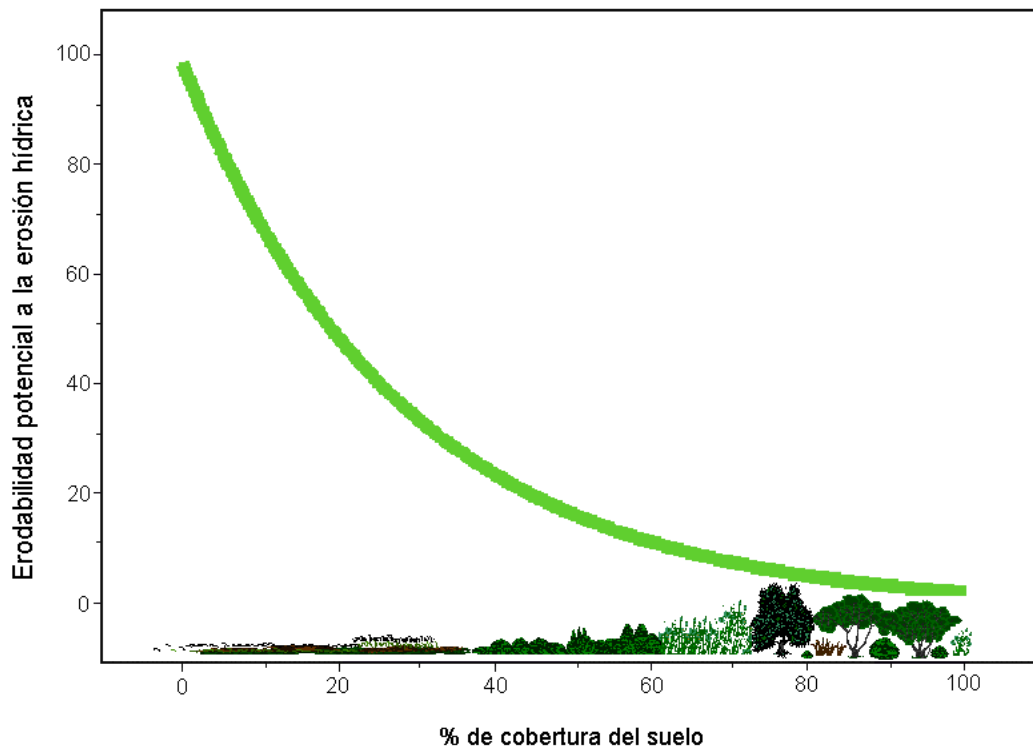


Figura 4: Cobertura del suelo y riesgo de erosión hídrica.

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.

Diversos estudios han demostrado que durante el año posterior a un incendio, la capacidad de infiltración disminuye hasta un 40 %, la concentración de sedimentos llega a ser el doble, y la tasa de erosión el cuádruple.

En síntesis, las variables asociadas a la estabilidad estructural, el recubrimiento del suelo y los procesos de sellado y encostramiento de la superficie se consideran de gran importancia en la dinámica de la infiltración después del fuego, siendo la lluvia un elemento impulsor de la degradación de suelo. (Llovet López, J. 2005).

Respecto de la cuenca de "El Morro", un breve análisis a partir de información satelital durante el período junio de 2009 - enero de 2010 señala la escasa superficie de bosques nativos remanentes y la recurrencia de incendios rurales que afectan a la vegetación residual. La distribución espacial de estos aspectos como factores de degradación y pérdida de infraestructuras rurales, se sintetizan en la Figura 5.

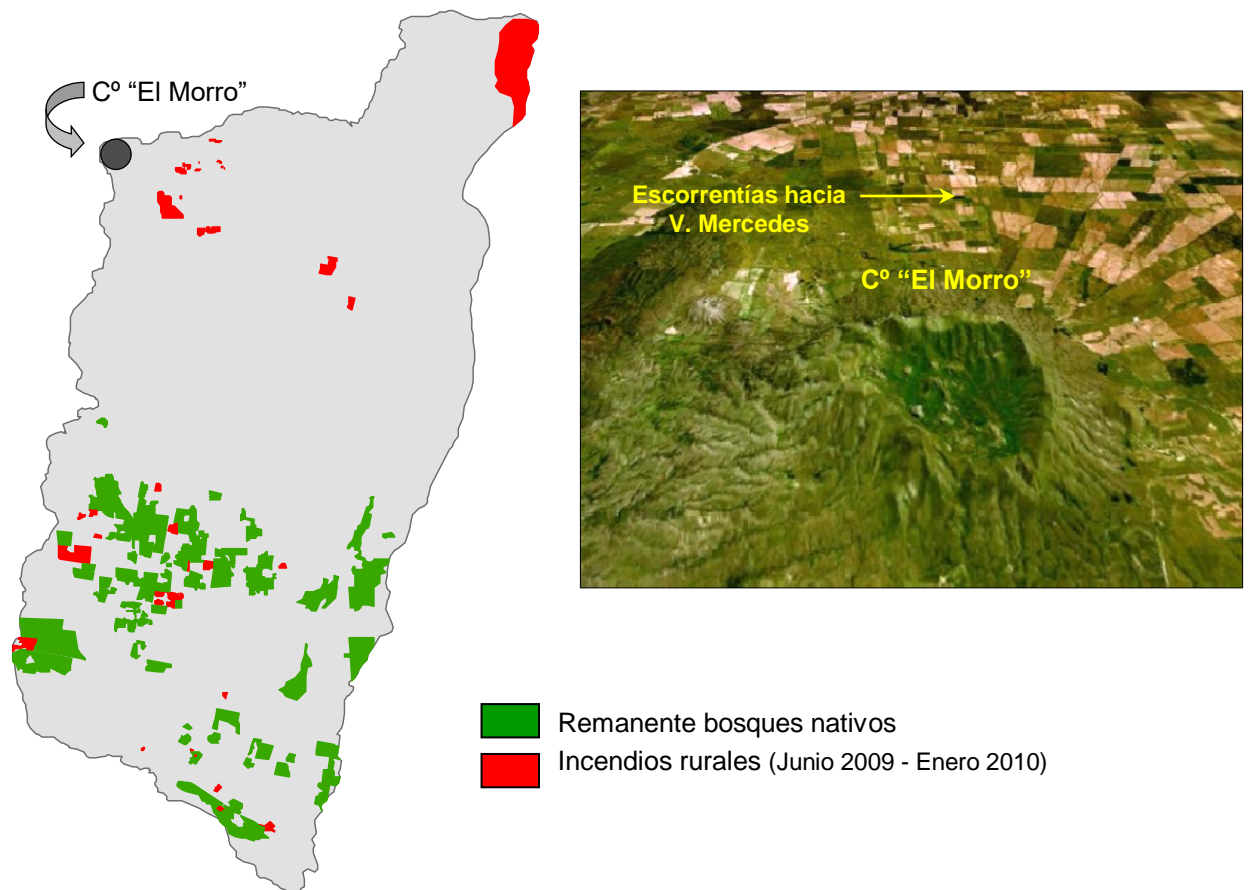


Figura 5: Distribución espacial de incendios rurales en la cuenca. Período junio 2009 / enero 2010.

SUELOS

Los suelos de la cuenca "El Morro" corresponden a *Haplustoles énticos* al norte y *Ustortentes - Ustipsamentes* 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. (15.8mm = escurrimiento con suelo desnudo, 5.4mm = 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.

Vistas las características del clima, progresivo reemplazo de la cubierta vegetal y suelos en la región; resulta necesario determinar las características de la infiltración y las condiciones hidrodinámicas del sistema.

Si bien esta capacidad de uso se vio modificada con el advenimiento de la siembra directa, esta tecnología por sí sola no logra evitar procesos de erosión hídrica como se aprecia en la Figura 6.

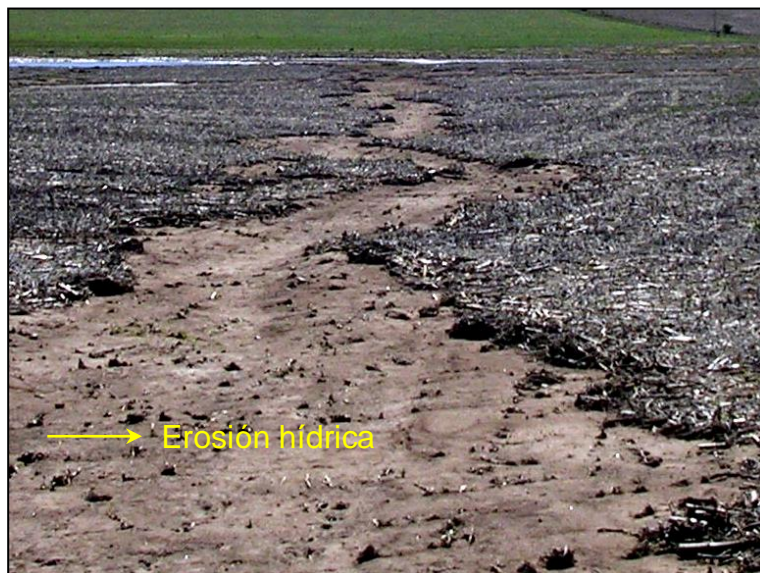


Figura 6: Erosión hídrica en un lote con siembra directa en la cuenca de "El Morro".

En consecuencia, debe ser acompañada por prácticas de conservación de suelos tales como las descritas en el Manual de Prácticas de Conservación de Suelos del Ministerio del Campo de San Luis 2007:

- Terrazas de desagüe paralelizadas.
- Canal de desagüe vegetado.
- Terrazas de absorción
- Bordos a nivel
- Cultivos en fajas.
- Canal de desvío, interceptor o de guarda.
- Defensa de cabecera de cárcavas.
- Técnica de recuperación de cárcavas.
- Cultivo en contorno paralelizados
- Estructuras reguladoras y retardadoras del escurrimiento.
- Implantación de pasturas perennes.
- Abonos verdes.
- Manejo de rastrojos.
- Sistema de labranzas conservacionistas.
- Rotación de cultivos.
- Técnicas de manejo de pastoreo.
- Cultivos cruzando la pendiente

CONDICIONES HIDRODINÁMICAS DEL SISTEMA

La tasa de infiltración de agua en el suelo determina la rapidez de infiltración del agua en el mismo y, como consecuencia, el volumen de agua que escurre sobre la superficie. La misma es condicionada por los siguientes factores:

- Estado de la superficie del suelo, condicionada por su uso
- Capacidad de almacenamiento y características del fluido
- Estructura del suelo y su composición mecánica

Las condiciones en que ocurre el proceso de infiltración es variable dentro de la cuenca respondiendo directamente a su geología y geomorfología, afectada también por el uso del suelo como se indicó anteriormente.

En los ambientes serranos como el de “*El Morro*”, la profundidad del suelo es baja alternando con afloramientos de la roca desnuda. Los suelos de textura franco arenosa se asocian a una tasa de infiltración alta, sin embargo, la presencia de la roca a poca profundidad, anula las pérdidas por infiltración profunda, con lo cual en estos ambientes las lluvias se traducen en excedentes hídricos que derivan en escorrentías superficiales de magnitud.

Cuando la precipitación media anual es superior a 1000 mm, como en el caso del año 2007 para la cuenca “*El Morro*” y existe una cobertura vegetal completa, ésta protege efectivamente al suelo del impacto de las gotas de lluvia, pero cuando la cobertura vegetal es escasa aumenta la erosión hídrica.

En el primer caso, predominan las transferencias verticales de agua (precipitación, evaporación e infiltración); en el segundo, las transferencias horizontales (escurrimiento). En este contexto, estudios realizados por el Instituto Nacional del Agua ([Barbeito et al, 2009](#)), permitieron graficar la tendencia de los escurrimientos superficiales anuales en la cuenca de “*El Morro*” para el período 1961-2007; los resultados se expresan en la Figura 7.

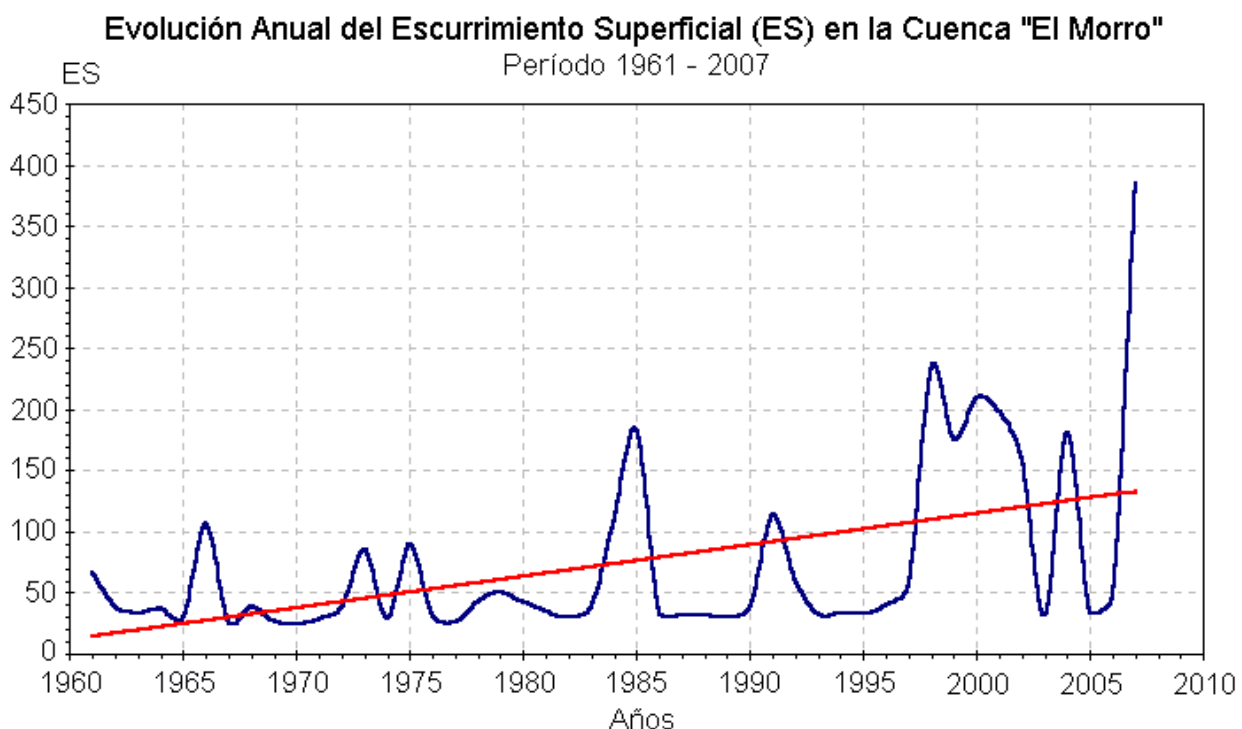


Figura 7: Evolución de escurrimientos superficiales en el período 1961-2007. (INA, 2009).

La lectura de la figura precedente, indica que, en los últimos 10 años se presenta una mayor ocurrencia de eventos de escorrentía significativos en relación a períodos anteriores, poniendo en evidencia de que el sistema ha reducido su capacidad de regulación de excedentes ante eventos de precipitación puntual de magnitud similar a la registrada históricamente.

Así mismo, los resultados indican un continuo incremento en los valores totales anuales de escurrimiento, con tasas de crecimiento del orden de los 2,6mm/año (ver figura). Por lo tanto la pérdida del carácter cíclico de los niveles de evapotranspiración y la tendencia creciente de los valores de escurrimiento superficial, especialmente en la última década, son atribuibles al sistemático incremento de los totales anuales precipitados (3,9 mm/año), que ha permitido alcanzar niveles de almacenamiento de agua en el suelo mayores a los históricos, disminuyendo en consecuencia su capacidad de infiltración.

El área ha sufrido progresivas transformaciones del paisaje rural que en ocasiones ha derivado en problemas ambientales como la erosión hídrica laminar, en surcos y en cárcavas.

INFILTRACIÓN, HUMEDAD Y EROSIÓN HÍDRICA

Los suelos de la cuenca “El Morro” presentan una permeabilidad moderada a rápida (*Peña Zubiarte et al., 2000*), lo que induce a pensar que no debería haber problemas de erosión hídrica, sin embargo los procesos de escurrimiento superficial en los últimos años han causado graves problemas; una explicación a este fenómeno se puede dar a partir de los conceptos de infiltración de los suelos e intensidad de las precipitaciones. Cuando se observan encharcamientos lo que sucede es que la precipitación superó la capacidad de infiltración del suelo, y si a esta situación sucede en suelos con pendientes erosivas (mayores al 0,5 %) comienza el escurrimiento superficial con arrastre de sedimentos.

Los factores que afectan la tasa de infiltración son: cubierta vegetal, propiedades físico-químicas del suelo, estado de la superficie del suelo, contenido de humedad presente. Este último punto requiere un tratamiento especial ya que la humedad del suelo se moviliza de tres maneras diferentes: por superficie (escurrimiento), por flujo sub-superficial (flujo no saturado) y flujo subterráneo (flujo saturado). El flujo saturado se presenta como nivel freático, por encima de este nivel, las fuerzas de capilaridad pueden saturar el medio poroso en un espesor no muy grande de suelo llamado franja capilar, que si es próximo a la superficie mantiene el suelo húmedo aun en períodos sin precipitaciones.

El flujo sub-superficial y el subterráneo, bajo ciertas condiciones, pueden salir a la superficie transformándose en escorrentía, bien como un manantial, o directamente fluyendo como un río (*Nanía y Gómez 2006*), según puede apreciarse en la Figura 8.

Este tipo de afloramiento de agua en la provincia de San Luis, difiere del observado en las lagunas de deflación, denominadas así por localizarse sobre cubetas de deflación. Las mismas tienen una superficie y profundidad variables vinculadas al ascenso del nivel freático y a la variabilidad de las precipitaciones en la región y áreas periféricas, entre otras causas (*Collado, 1998; Collado et al, 2002*).

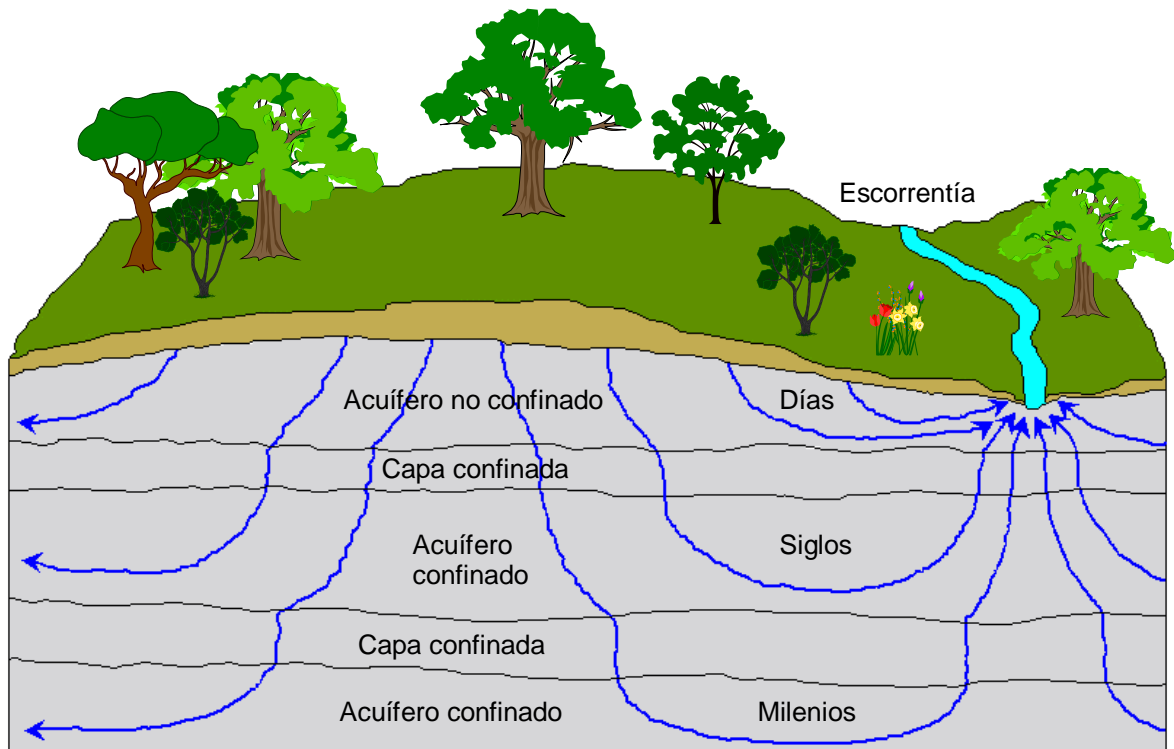


Figura 8: Flujos subsuperficiales y manifestación superficial (escorrentías).

La escorrentía forma pequeñas zanjas y en cárcavas cuando son más amplias, profundas, de carácter permanente, originadas en áreas con mayor potencial morfogenético debido a la pendiente, escasa cubierta vegetal y caudal de la escorrentía, no pudiendo ser rellenadas por técnicas agrícolas ordinarias como puede apreciarse en la Figura 9.



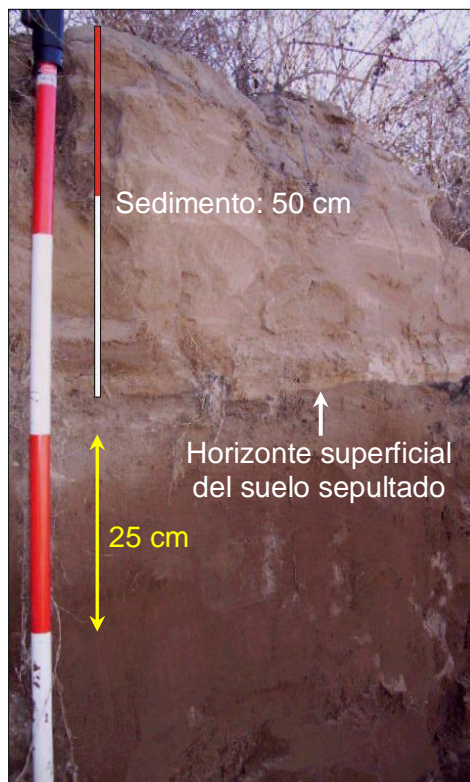
Figura 9: Erosión hídrica en cárcavas en proximidades a Villa Mercedes.

En ocasiones, se han originado enormes volúmenes de sedimento (Figura 10).



Figura 10: Sedimentos sobre la Ruta Nacional 8 próximo a Villa Mercedes

En la Figura 11, puede apreciarse el espesor de sedimentación en suelo afectado por el fenómeno, localizado en la posición 33° 38' 26" Lat. Sur y 65° 22' 18" Long. Oeste.



Haplustol éntico
Localización:
33° 38' 26" Lat. Sur
65° 22' 18" Long. Oeste

Figura 11: Espesor de sedimentación en un suelo de la cuenca de "El Morro".

BALANCE HÍDRICO

En este contexto biofísico, toda unidad hidrológica, sea una cuenca superficial o subterránea, contiene, recibe aportes y descarga un volumen de agua variable. Estos tres elementos deben equilibrarse a lo largo de una determinada unidad de tiempo. La expresión cuantitativa de este equilibrio constituye el balance hídrico.

El balance hídrico se refiere siempre a una unidad hidrológica-cuenca y a un intervalo de tiempo. El intervalo de tiempo puede ser cualquiera, pero lo normal son año hidrológico medio, un año o un número determinado de años, un mes, un número de días, un día e incluso el tiempo de duración de una tormenta (*Heras, 1970; Springall, 1976; Nanía y Gómez, 2006*).

Los elementos principales en un balance hídrico son:

- Precipitación
- Infiltración
- Evapotranspiración potencial y real
- Aportaciones o caudal de salida
- Déficit de escurrimiento
- Variación de reservas
- Almacenamiento en depresiones

MATERIALES Y MÉTODOS

Para efectuar un análisis actual y multitemporal de la cuenca de “*El Morro*” se utilizaron las siguientes fuentes de información:

1. *DEM SRTM* o Modelo de Elevación Digital de la misión “*Radar Shuttle*”.
2. imágenes satelitales *Landsat Thematic Mapper (TM)*, *Path 230 Row 83*, correspondientes a los años, 2007 y 2008, con una resolución espacial de 30 m Las bandas seleccionadas fueron las 2, 3 y 4.
3. Fotografías aéreas pancromáticas de escala 1: 100.000 registradas en el año 1960.

El *DEM SRTM (USGS 2000)*, fué obtenido de modo conjunto por: *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, *National Geospatial-Intelligence Agency (NGA)*, *Agenzia Spaziale Italiana (ASI)* y *German Remote Sensing Data Center (DLR's)*. El mismo posee una resolución espacial de 3” de arco (aproximadamente 90 metros) y una precisión vertical de 16 metros (con un 90% de confianza). El *DEM SRTM*, posee una gran coincidencia con el *DEM* generado a partir de la interpolación de curvas de nivel disponibles en las cartas del Instituto Geográfico Militar de Argentina (*IGM*), de escala 1:50.000.

Un *DEM* proporciona información muy detallada de una característica esencial de la topografía o alturas de los lugares sobre el nivel del mar. A partir de esta información, es posible obtener un amplio conjunto de otras variables que nos permiten conocer en profundidad el terreno y resolver diversos tipos de problemas prácticos: elaboración de mapas de pendientes y orientaciones del terreno (hacia qué punto cardinal mira la topografía en cada píxel de la zona), determinación y análisis de cuencas de drenaje y la intervisibilidad entre puntos de un área en función de sus respectivas alturas.

La información constituida por el *DEM* y los mapas derivados (orientación, pendientes, otros) constituyen el Modelo Digital del Terreno (*MDT*), necesario para la delimitación de la cuenca, la modelación de su comportamiento espacial y la obtención del patrón de escurrimientos hídricos superficiales

En síntesis, se denomina *MDT* al conjunto de capas (generalmente ráster) que representan distintas características de la superficie terrestre derivadas de una capa de elevaciones a la que se denomina Modelo Digital de Elevaciones (*MDE*). Aunque algunas definiciones incluyen dentro de los *MDT* prácticamente cualquier variable cuantitativa regionalizada, aquí se prefiere limitar el *MDT* al conjunto de capas derivadas del *MDE*.

El trabajo con un *MDT* incluye la disponibilidad de un *MDE* (en este caso la información *SRTM*), o su generación, la manipulación del mismo para obtener otras capas del *MDT* (pendiente, orientación, otras), la visualización en dos dimensiones o mediante levantamientos 3D de todas las capas para localizar errores, el análisis del *MDT* (estadístico, morfométrico) y su aplicación.

Una de las razones por las que estas fases se solapan es que en muchos casos la manipulación, visualización y análisis van a permitir descubrir errores en el *MDE*. De este modo se vuelve a la primera fase y se genera un *MDE* mejorado.

A partir de este mapa topográfico como lo representa la Figura 12, pueden obtenerse en cualquier dirección perfiles altimétricos y otros productos cartográficos como mapas de pendientes, las cuales pueden ser estratificadas por rangos de pendiente.

El área de la cuenca delimitada (en la misma Figura 12), está definida por el número de píxeles que drenan sus aguas hacia el píxel que contiene al punto de interés o de cierre de la cuenca, incluido éste (el "*píxel*" es el mínimo elemento de detalle discernible en la imagen que el sistema óptico del sensor puede captar, y determina la resolución espacial que tendrá).

La evolución espacio-temporal de las escorrentías hídricas superficiales y el *DEM SRTM*, para la delimitación automática de las cuencas hidrográficas (conjunto de tierras que drenan sus aguas hacia un cauce común), permitió un análisis en base a la orientación topográfica.

El perfil altimétrico del terreno a lo largo de un alineamiento, en el caso de estudios hidrológicos como el presente, se puede determinar con facilidad el perfil longitudinal de un cauce con el fin de obtener su pendiente media

A partir del modelo digital de elevación se puede obtener como se mencionó precedentemente un mapa de pendientes. Entre las distintas posibilidades de calcular la pendiente en un punto (*píxel*) del mapa ráster (*Bosque Sendra, 1992*), el procedimiento empleado emplea una de las más sencillas: primero determina la pendiente entre el punto central o de referencia y los cuatro más inmediatos situados arriba, abajo, a su izquierda y a su derecha y en segundo término obtiene el máximo valor de estos cuatro para asignárselo como pendiente al píxel central. La orientación de este plano de pendiente es la de ese píxel.

Cuando la superficie es plana; es decir no existe ninguna diferencia de alturas entre un punto y sus cuatro vecinos, la pendiente es cero y la orientación es "*hacia arriba*", indicado por el valor -1. Este procedimiento, permitió obtener el mapa de pendientes representado en la Figura 13.

La delimitación de la subcuenca de "*El Morro*" (Figura 14), pudo lograrse mediante un procedimiento realizado con los módulos "*Surface Analysis*" y "*Watershed*" del *Software Idrisi*, que posibilitó la identificación automática de líneas divisorias de las aguas del *DEM* disponible para el área de estudio. El módulo "*Runnof*", permitió calcular la precipitación por píxel en base a datos altimétricos proporcionados por el *DEM*. La Figura 13 indica el patrón de escurrimiento superficial y la 14 el patrón modificado por obras civiles (trasvase de la cuenca) indicado con la letra A.

CUENCA HIDROGRÁFICA DE EL MORRO
 MAPA TOPOGRÁFICO
 Perfil altimétrico

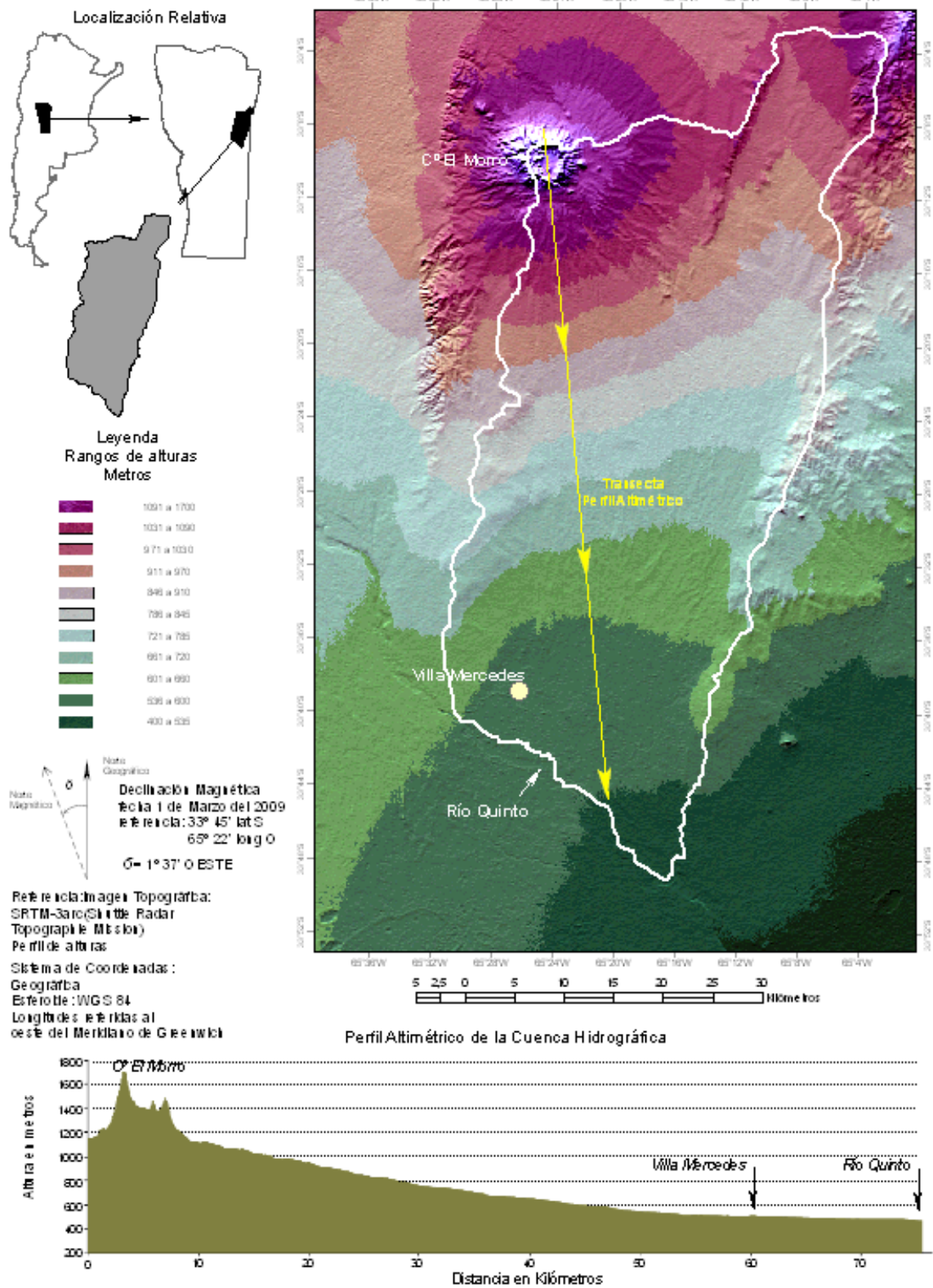


Figura 12: Mapa Topográfico derivado de la imagen SRTM, delimitación de la cuenca y perfil altimétrico.

MAPA DE PENDIENTES

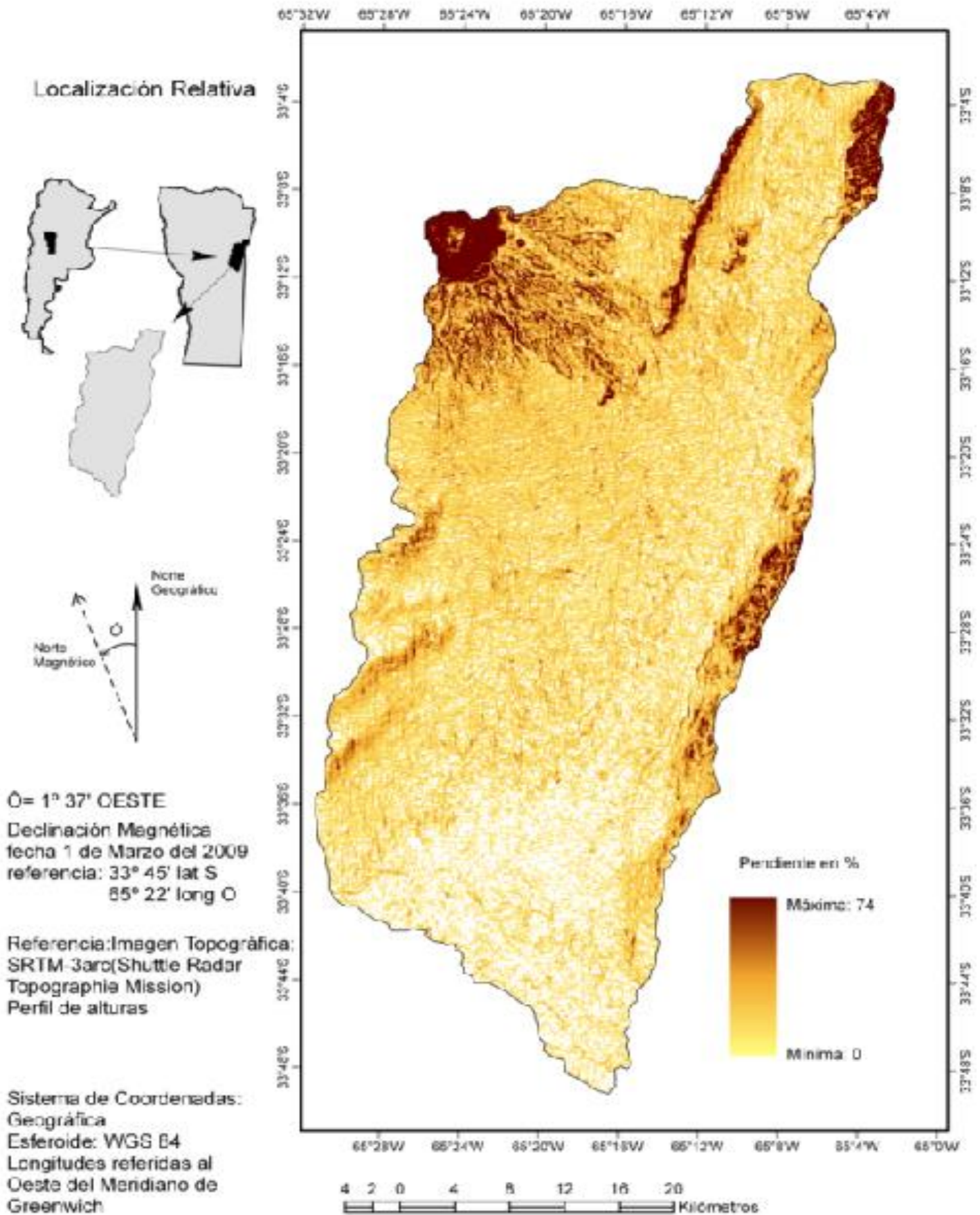


Figura 13: Mapa de pendientes.

CUENCA EL MORRO

Patrones de escurrimiento superficial

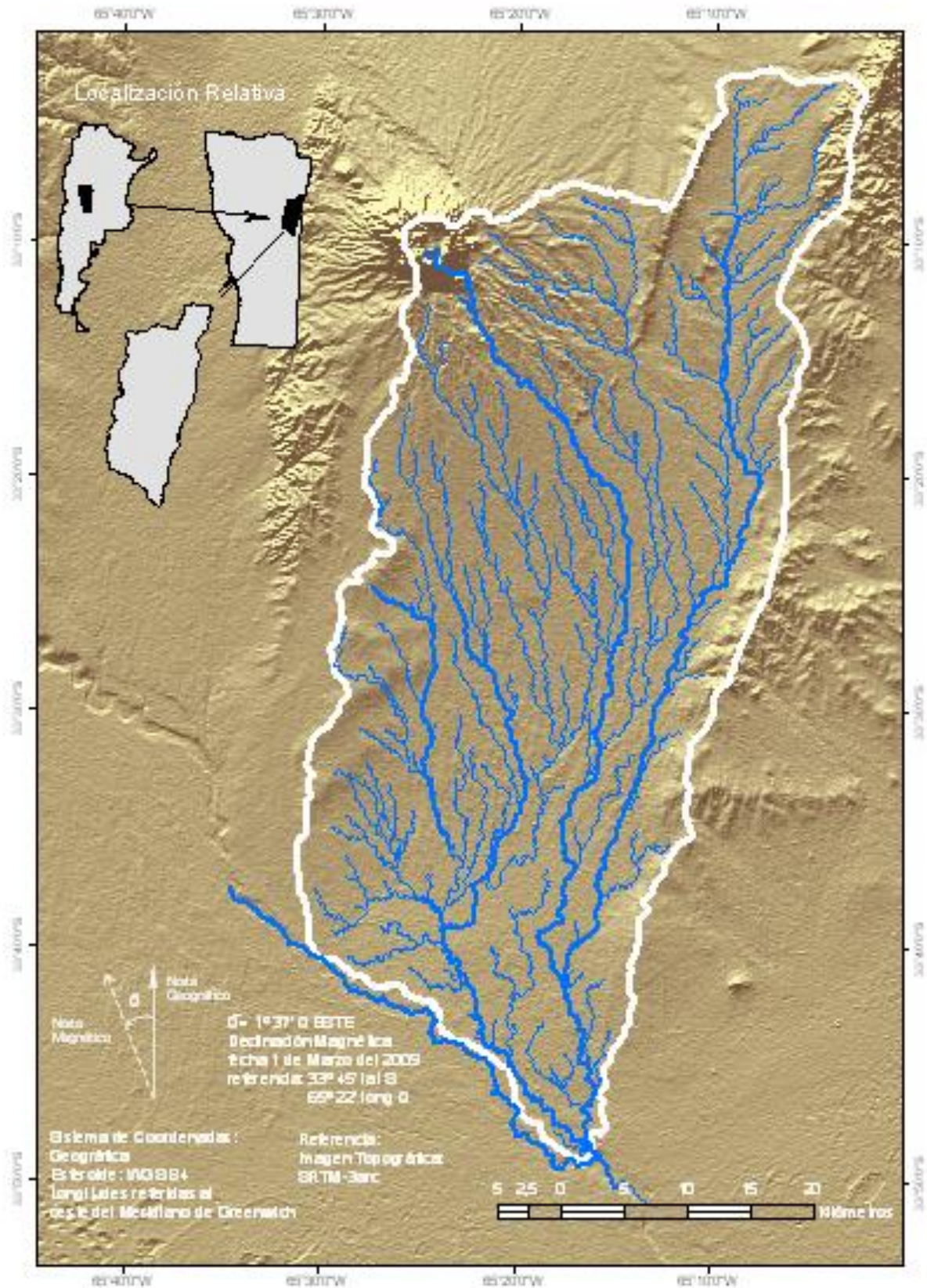


Figura 14: Determinación de subcuencas a través del procedimiento *Watershed* (sin considerar obras civiles).

CUENCA EL MORRO

Patrones de escurrimiento superficial modificado por obras

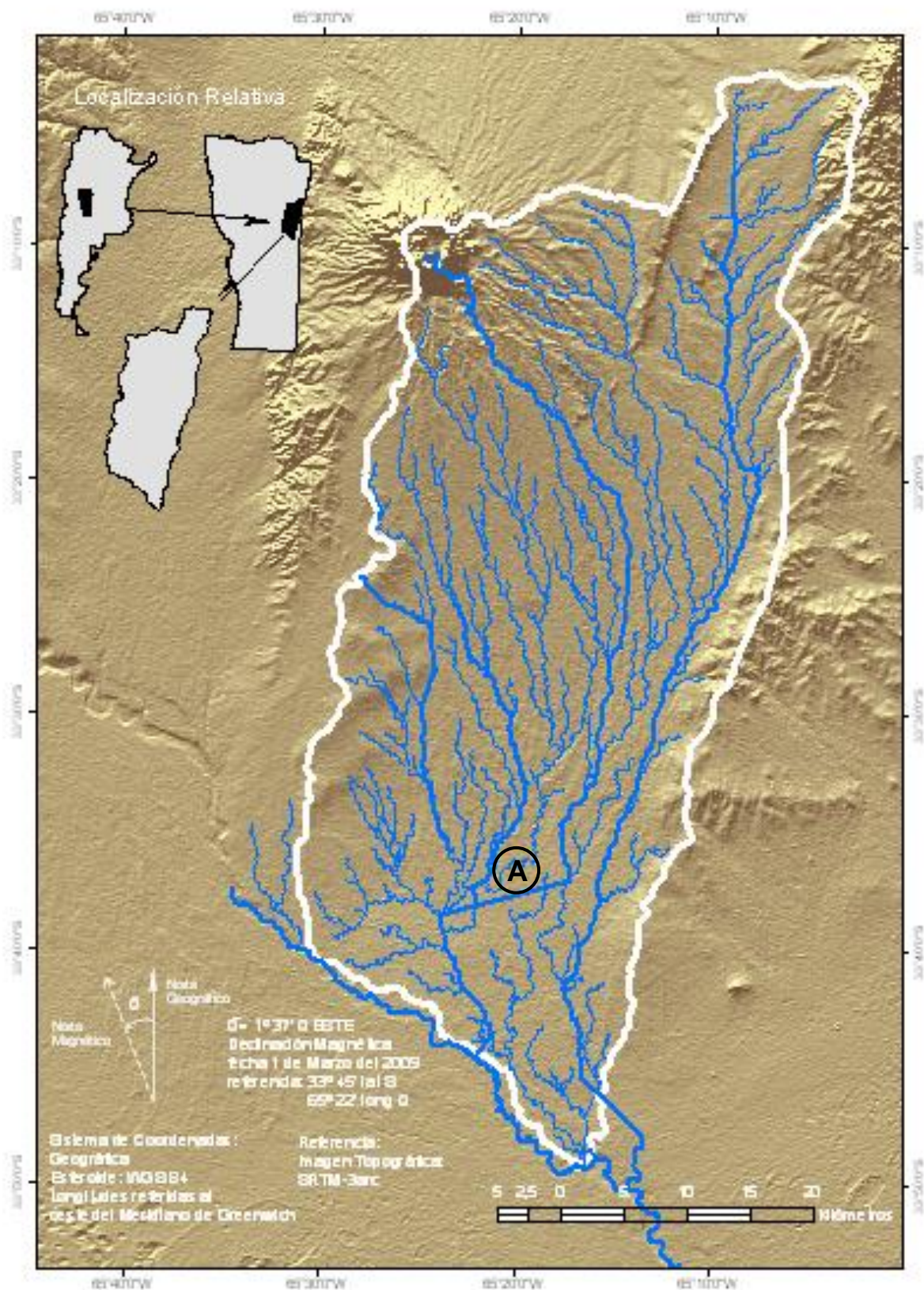


Figura 15: Determinación de subcuencas a través del procedimiento *Watershed* (considerando obras civiles).

EL MÉTODO PFAFSTETTER

El *Sistema Pfafstetter*, representa un método de codificación y delimitación de unidades hidrográficas, es analítico, organizado y con características de aplicación global, que se basa, principalmente en la superficie de las unidades de drenaje y de la ubicación de ésta dentro del contexto hipsográfico en el que se encuentra, en relación con las unidades de drenaje vecinas, respondiendo a criterios netamente topológicos.

El método, fue ideado, originalmente, con el objeto de aplicarlo en el territorio brasilero, y dar así un aporte cabal y organizado al inventario de los recursos hídricos de ese país, y que por añadidura, podría contar con alcances mucho más ambiciosos, como la del manejo del territorio de manera integral.

En 1997, El Servicio Geológico de los Estados Unidos (*U.S. Geological Survey USGS*), ocho años después que el método fue creado (1989), debido a las características ventajosas, ya explicadas, lo adoptó como sistema de codificación de carácter global. Esto conllevó, a que este sistema, sea actualmente reconocido como estándar internacional, siendo adaptado por diversos países (*Aguirre et al., 2007*).

En la delimitación, el *Sistema Pfafstetter*, determina, dentro de una unidad de drenaje mayor, un flujo principal o río principal, y cuatro tributarios, cuyas áreas de drenaje sean las mayores dentro del ámbito de esa unidad mayor; quedando el área restante para dar origen a las cinco intercuencas.

El *Sistema Pfafstetter* emplea nueve dígitos del sistema decimal (1 al 9) para codificar las nuevas unidades de drenaje obtenidas. Esto quiere decir, que el máximo número de subunidades de drenaje que se pueden obtener al dividir una unidad de drenaje mayor, son nueve: cuatro cuencas y cinco intercuencas. A éstas, los códigos le son asignadas, siguiendo una dirección que va desde “*aguas abajo*” hacia “*aguas arriba*” del río principal, de la unidad de drenaje mayor dividida. Los códigos son repartidos tomando en cuenta el tipo de unidad de drenaje y la ubicación de ésta dentro de la unidad mayor, de la siguiente manera: dígitos pares para las cuencas y dígitos impares para las intercuencas; con lo cual obtendríamos cuatro cuencas con los códigos 2, 4, 6 y 8; y cinco intercuencas con los códigos 1, 3, 5, 7 y 9. Existe un caso especial, cuando se trata de cuencas cerradas ó internas, pues a este tipo de unidades se les asigna el dígito 0.

El nivel de jerarquía de una unidad de drenaje, es reconocido por la cantidad de dígitos que contiene el código, es decir los dígitos contienen información topológica de identificación y ubicación, de allí radica su gran importancia. Una unidad con código 4978, pertenece al nivel 4 y es una unidad de tipo cuenca, subdivida a su vez de la unidad tipo intercuenca 497.

En suma, un *Código Pfafstetter*, para una unidad de drenaje cualquiera, es generado de la siguiente manera: código de unidad padre + dígito asignado por tipo y ubicación. Así, para obtener el código de una unidad de drenaje de tipo intercuenca y ubicado en la parte más baja de la unidad padre, con código 86, se tiene el código final 861 (86 + 1), que correspondería a una unidad de nivel 3.

La aplicación de este sistema en el Perú, nos ayuda a integrarnos en el contexto regional y mundial, que ayudará en gran medida en el desarrollo de los países de la región. Pues si deseamos emprender un proceso de administración eficiente de nuestro territorio de manera integral y sostenida, que mejor inicio, que organizar coherentemente la distribución territorial de manera natural y ordenada.

Para la cuenca y subcuencas de “*El Morro*”, se aplicó este método de codificación. Su resultado se sintetiza en la Figura 16.

MICROCUENCAS ELMORRO
 CODIFICACIÓN METODO PFAFSTETTER

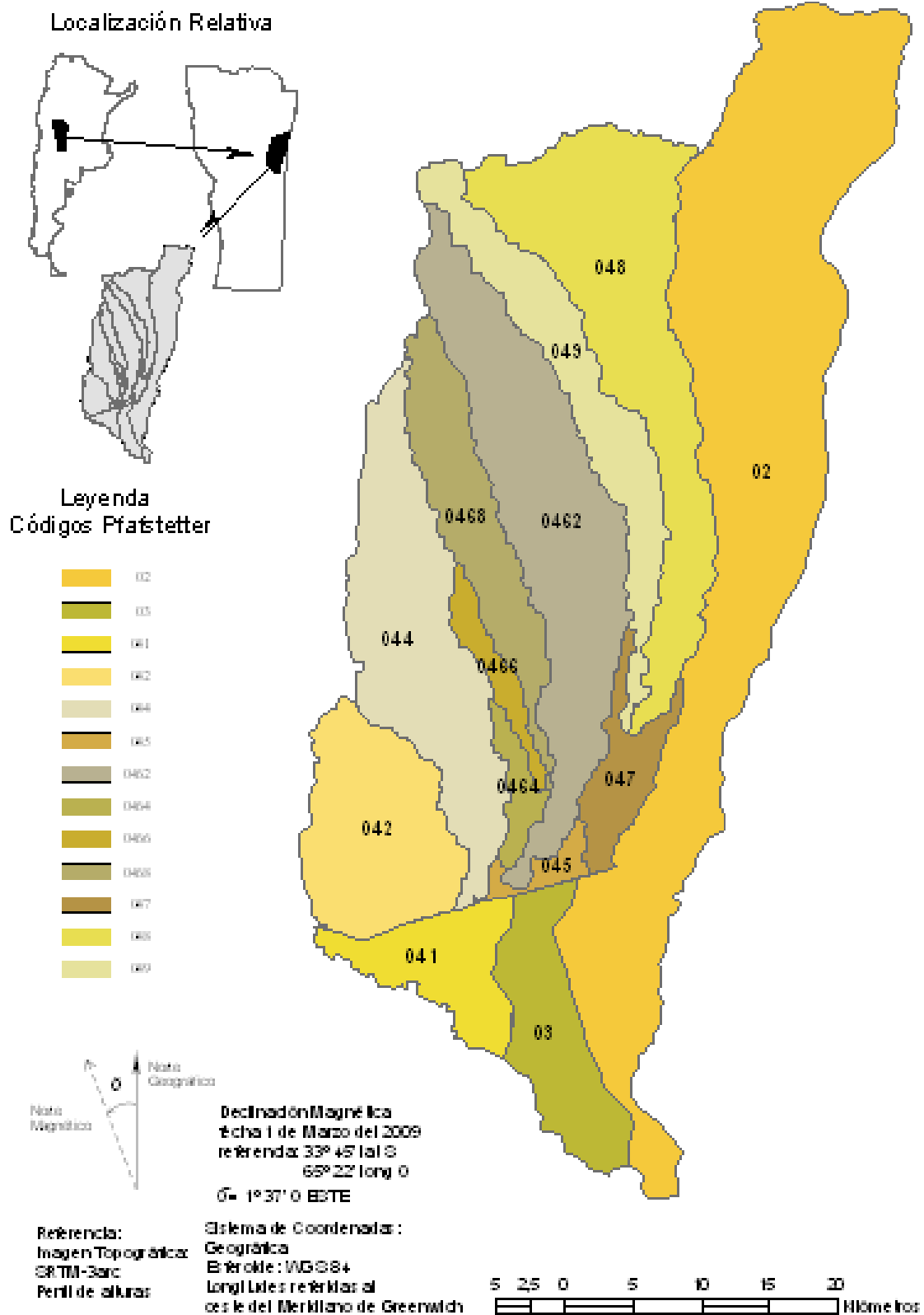


Figura 16: Codificación de cuencas según el *Método de Pfafstetter*.

MORFOMETRÍA

De modo complementario y con posterioridad a la delimitación de cuencas y subcuencas, fueron definidos mediante un SIG, algunos parámetros morfométricos de las mismas a efectos de conocer el funcionamiento del sistema hidrológico como herramienta de planificación ambiental.

Entre estos parámetros fueron considerados:

1. Área de la subcuenca (A): una vez definida la divisoria de aguas de la misma, su área se obtiene directamente en base al tamaño del píxel y el número de píxeles encerrados por la divisoria. Se encuentra directamente relacionada con la cantidad de agua que una cuenca puede producir y en consecuencia con la magnitud de sus caudales.
2. Perímetro de la subcuenca (P): es la longitud que posee la divisoria de aguas.

3. Longitud axial (L): es la distancia medida desde la salida de la Subcuenca hasta el punto más alejado de esta. Se encuentra relacionada con el tiempo de concentración de la cuenca.

4. Factor de forma (K_f): Es la relación entre el ancho medio y la longitud axial de la subcuenca (distancia entre el punto de interés y la cabecera más alejada de la hoya). Una cuenca con un bajo factor de forma está menos sujeta a crecidas que otra cuenca del mismo tamaño pero mayor factor de forma. Se calcula con la expresión:

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

Siendo:

A el área de la cuenca y L la longitud axial

5. Coeficiente de compacidad de Gravelius (K_c): relaciona la forma de la subcuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la subcuenca en estudio. Se determina con la expresión:

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

En donde: K_c es el coeficiente de compacidad, P es el perímetro y A es el área de la subcuenca. Si K_c es igual a 1 la subcuenca es de forma circular, las cuencas alargadas presentan valores de $K_c > 1$ y se las considera con menor propensión a las crecidas ya que su forma reduce esas posibilidades.

6. Desnivel altitudinal (Dh): es la diferencia entre la cota más alta y más baja de la subcuenca. Condiciona la variabilidad climática y ecológica, ya que una cuenca con un mayor desnivel altitudinal puede presentar variaciones considerables de precipitación y temperatura que en consecuencia pueden albergar diferentes ecosistemas.

7. Curva hipsométrica: La curva hipsométrica proporciona una información sintetizada sobre la altitud de la subcuenca. Dicha curva representa, en ordenadas, las distintas cotas de la subcuenca, y en abscisas la superficie de la subcuenca que se halla sobre dichas cotas, bien en unidades de área o en porcentaje de la superficie total de la subcuenca.

8. Elevación media de la subcuenca (Hm): se determina en base a los estadísticos del *DEM* de la misma, considerando la elevación media de cada rango de píxeles y el número de ellos comprendido en cada rango. La elevación media se encuentra relacionada directamente con el clima de la subcuenca, con sus valores de temperatura media y la precipitación.

9. Pendiente (S): La pendiente media ha sido tradicionalmente utilizada para caracterizar el relieve de una subcuenca, pero una representación más confiable se obtiene con un histograma de frecuencias de la pendiente derivada del *DEM*, utilizándose los valores de pendiente media (Sm), pendiente mínima ($Smin$) y pendiente máxima ($Smáx$).

10. Pendiente del cauce principal (Mcp): Este parámetro influye directamente en el tiempo de concentración de la subcuenca y es considerado generalmente como la razón entre el desnivel entre los puntos extremos del cauce y la distancia horizontal entre ellos.

Finalmente, para analizar la exactitud o fiabilidad cartográfica respecto de la realidad a campo, se aplicó un muestreo aleatorio mediante la extensión “*NR Random Sampling Tools*) facilitada por el *Software ArcView GIS* y cuyo procedimiento permite valorar el grado de error entre la representación cartográfica y la realidad terrena.

Las Figuras 17 A - 17 M, sintetizan algunos de los resultados obtenidos a nivel de microcuenca.

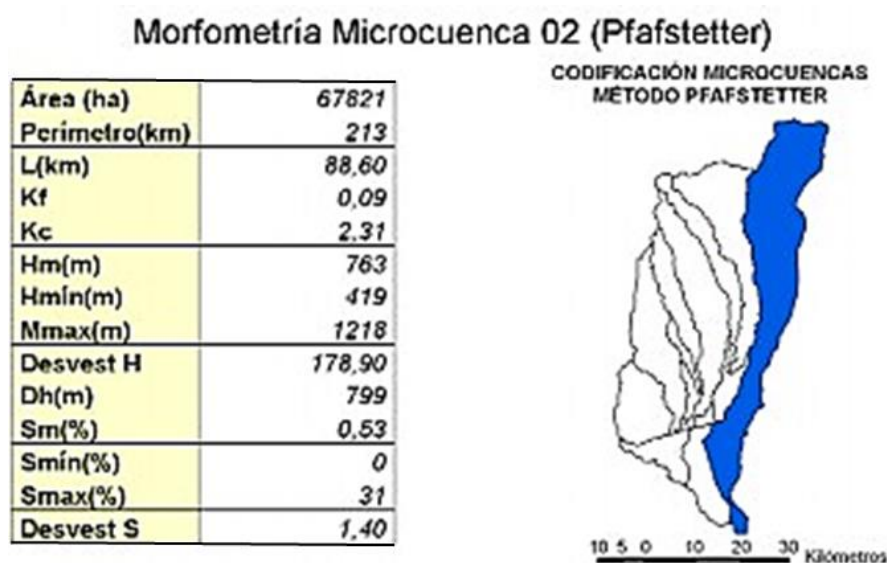


Figura 17 A: Morfometría según microcuencas.

Morfometría Microcuenca 03 (Pfafstetter)

Área (ha)	10542
Perímetro(km)	56
L(km)	22.04
Kf	0.22
Kc	1.54
Hm(m)	478
Hmín(m)	432
Mmax(m)	523
Desvest H	22.31
Dh(m)	91
Sm(%)	0.23
Smín(%)	0
Smax(%)	5
Desvest S	0.50

CODIFICACIÓN MICROCUENCAS
MÉTODO PFAFSTETTER



Morfometría Microcuenca 041 (Pfafstetter)

Área (ha)	7850
Perímetro(km)	52
L(km)	16.13
Kf	0.30
Kc	1.66
Hm(m)	504
Hmín(m)	483
Mmax(m)	545
Desvest H	12.87
Dh(m)	62
Sm(%)	0.22
Smin(%)	0
Smax(%)	5
Desvest S	0.50

CODIFICACIÓN MICROCUENCAS
MÉTODO PFAFSTETTER



Morfometría Microcuenca 042 (Pfafstetter)

Área (ha)	15176
Perímetro(km)	55
L(km)	17.62
Kf	0.49
Kc	1.26
Hm(m)	585
Hmín(m)	503
Mmax(m)	707
Desvest H	47.03
Dh(m)	204
Sm(%)	0.72
Smín(%)	0
Smax(%)	6
Desvest S	0.91

CODIFICACIÓN MICROCUENCAS
MÉTODO PFAFSTETTER



Figura 17 B, C, D: Morfometría según microcuencas.

Morfometría Microcuenca 044 (Pfafstetter)

Área (ha)	20203
Perímetro(km)	110
L(km)	40.68
Kf	0.12
Kc	2.18
Hm(m)	681
Hmin(m)	502
Mmax(m)	981
Desvest H	107.43
Dh(m)	479
Sm (%)	0.49
Smin (%)	0
Smax (%)	7
Desvest S	0.89

CODIFICACIÓN MICROCUENCAS
MÉTODO PFAFSTETTER



Morfometría Microcuenca 045 (Pfafstetter)

Área (ha)	1634
Perímetro(km)	33
L(km)	10.17
Kf	0.16
Kc	2.30
Hm(m)	525
Hmin(m)	508
Mmax(m)	546
Desvest H	6.53
Dh(m)	38
Sm (%)	0.14
Smin (%)	0
Smax (%)	2
Desvest S	0.36

CODIFICACIÓN MICROCUENCAS
MÉTODO PFAFSTETTER



Morfometría Microcuenca 0462 (Pfafstetter)

Área (ha)	27614
Perímetro(km)	128
L(km)	49.37
Kf	0.11
Kc	2.17
Hm(m)	777
Hmin(m)	514
Mmax(m)	1631
Desvest H	172.44
Dh(m)	1117
Sm (%)	0.63
Smin (%)	0
Smax (%)	72
Desvest S	1.98

CODIFICACIÓN MICROCUENCAS
MÉTODO PFAFSTETTER



Figura 17 E, F, G: Morfometría según microcuencas.

Morfometría Microcuenca 0464 (Pfafstetter)

Área (ha)	2255
Perímetro(km)	33
L(km)	12.49
Kf	0.14
Kc	1.96
Hm(m)	547
Hmín(m)	511
Mmax(m)	611
Desvest H	26.03
Dh(m)	100
Sm (%)	0.26
Smín (%)	0
Smax (%)	4
Desvest S	0.59

CODIFICACIÓN MICROCUENCAS
MÉTODO PFAFSTETTER



Morfometría Microcuenca 0466 (Pfafstetter)

Área (ha)	2668
Perímetro(km)	41
L(km)	17.74
Kf	0.08
Kc	2.24
Hm(m)	633
Hmín(m)	552
Mmax(m)	725
Desvest H	45.20
Dh(m)	173
Sm (%)	0.25
Smín (%)	0
Smax (%)	5
Desvest S	0.60

CODIFICACIÓN MICROCUENCAS
MÉTODO PFAFSTETTER



Morfometría Microcuenca 0468 (Pfafstetter)

Área (ha)	11412
Perímetro(km)	86
L(km)	35.60
Kf	0.09
Kc	2.27
Hm(m)	784
Hmín(m)	554
Mmax(m)	1056
Desvest H	121.15
Dh(m)	502
Sm (%)	0.46
Smín (%)	0
Smax (%)	8
Desvest S	0.89

CODIFICACIÓN MICROCUENCAS
MÉTODO PFAFSTETTER



Figura 17 H, I, J: Morfometría según microcuencas.

Morfometría Microcuenca 047 (Pfafstetter)

Área (ha)	4929
Perímetro(km)	56
L(km)	18.39
Kf	0.15
Kc	2.25
Hm(m)	565
Hmín(m)	525
Mmax(m)	634
Desvest H	23.81
Dh(m)	109
Sm (%)	0.27
Smin (%)	0
Smax (%)	4
Desvest S	0.58

CODIFICACIÓN MICROCUENCAS
MÉTODO PFAFSTETTER



Morfometría Microcuenca 048 (Pfafstetter)

Área (ha)	27757
Perímetro(km)	127
L(km)	44.65
Kf	0.14
Kc	2.15
Hm(m)	907
Hmín(m)	578
Mmax(m)	1551
Desvest H	171.33
Dh(m)	973
Sm (%)	0.82
Smin (%)	0
Smax (%)	63
Desvest S	2.58

CODIFICACIÓN MICROCUENCAS
MÉTODO PFAFSTETTER



Morfometría Microcuenca 049 (Pfafstetter)

Área (ha)	13476
Perímetro(km)	113
L(km)	44.12
Kf	0.07
Kc	2.75
Hm(m)	914
Hmín(m)	574
Mmax(m)	1751
Desvest H	231.60
Dh(m)	1177
Sm (%)	0.75
Smín (%)	0
Smax (%)	74
Desvest S	3.60

CODIFICACIÓN MICROCUENCAS
MÉTODO PFAFSTETTER



Figura 17 K, L, M: Morfometría según microcuencas.

Con posterioridad, calculados los coeficientes morfométricos, se sintetizan en la Figura 18, sobre la imagen *SRTM*, la cuenca con sus respectivas microcuencas modificadas en su parte inferior por obras civiles y la correspondiente codificación según el *Método de Pfafstetter*.

Una vez determinadas las subcuencas y en base a la relación de vecindad de los píxeles, la altimetría y el grado de pendientes, fueron estimadas las escorrentías superficiales para niveles de pluviometría superiores a los 1000 mm, a través de otro procedimiento conocido como *Runnof*. Esta constituye una cartografía de erosión hídrica potencial, que permite para niveles hipotéticos de precipitación, anticipar escenarios y consecuencias productivas y ambientales. Así mismo fue cuantificada la superficie para cada una de las subcuencas. La Figura 18, muestra el resultado obtenido.

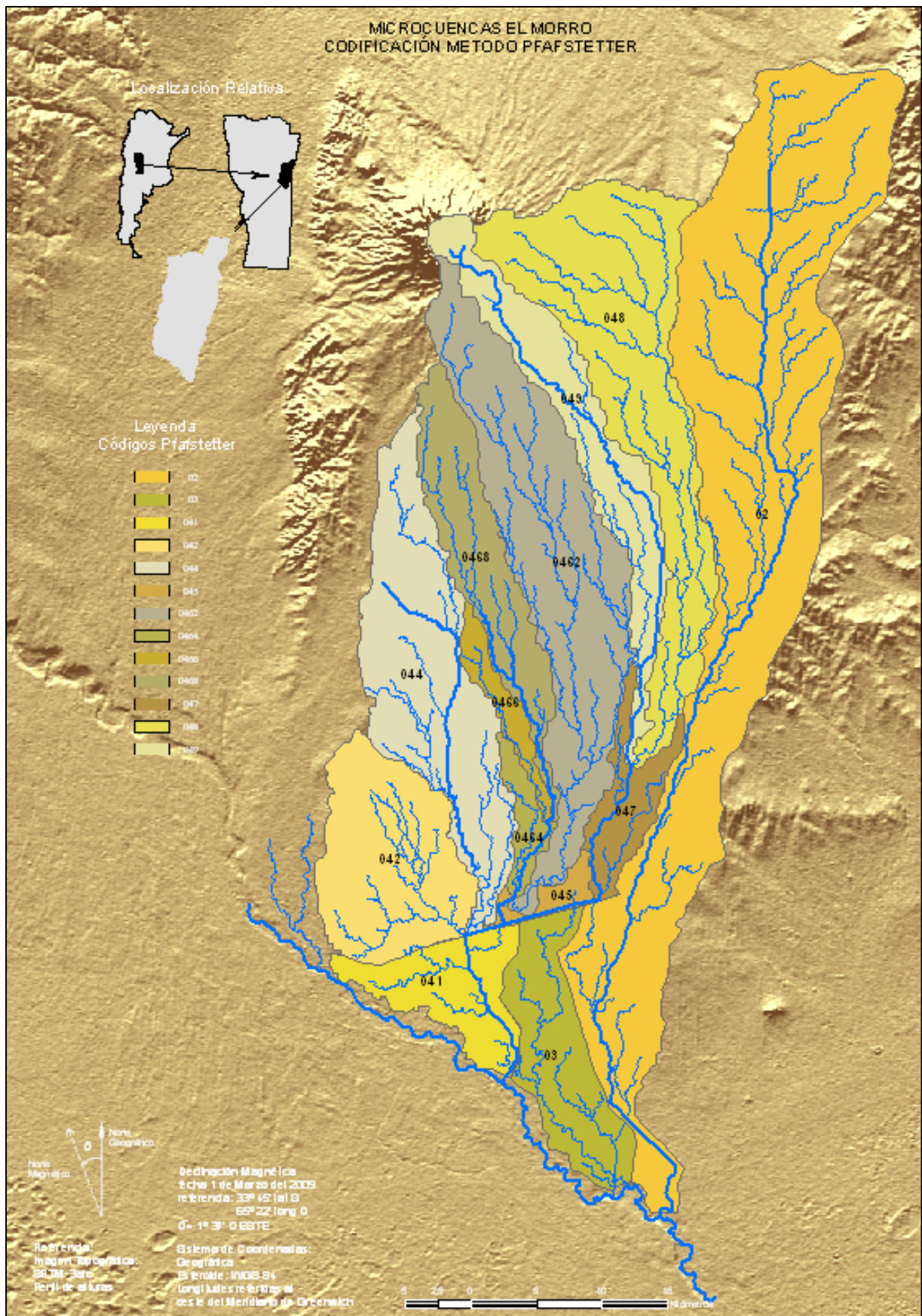


Figura 18: Subcuencas Codificadas por el *Método de Pfafstetter* y patrón de drenaje.

CAMBIOS DE USO DEL SUELO Y ESTRUCTURA DEL PAISAJE

La utilización de la tierra, define paisajes constituidos por espacios naturales y antrópicos que varían en forma, tamaño y distribución. La transformación de los patrones espacio-temporales de uso, permiten evaluar los cambios y el deterioro ambiental en casos de una inadecuada gestión.

A modo de ejemplo, la Figura 19 ilustra sobre el cambio de uso y cobertura de la tierra ocurrido en la subcuenca codificada con el número 0642 según el *Método de Pfafstetter* para el período 1962-2009.

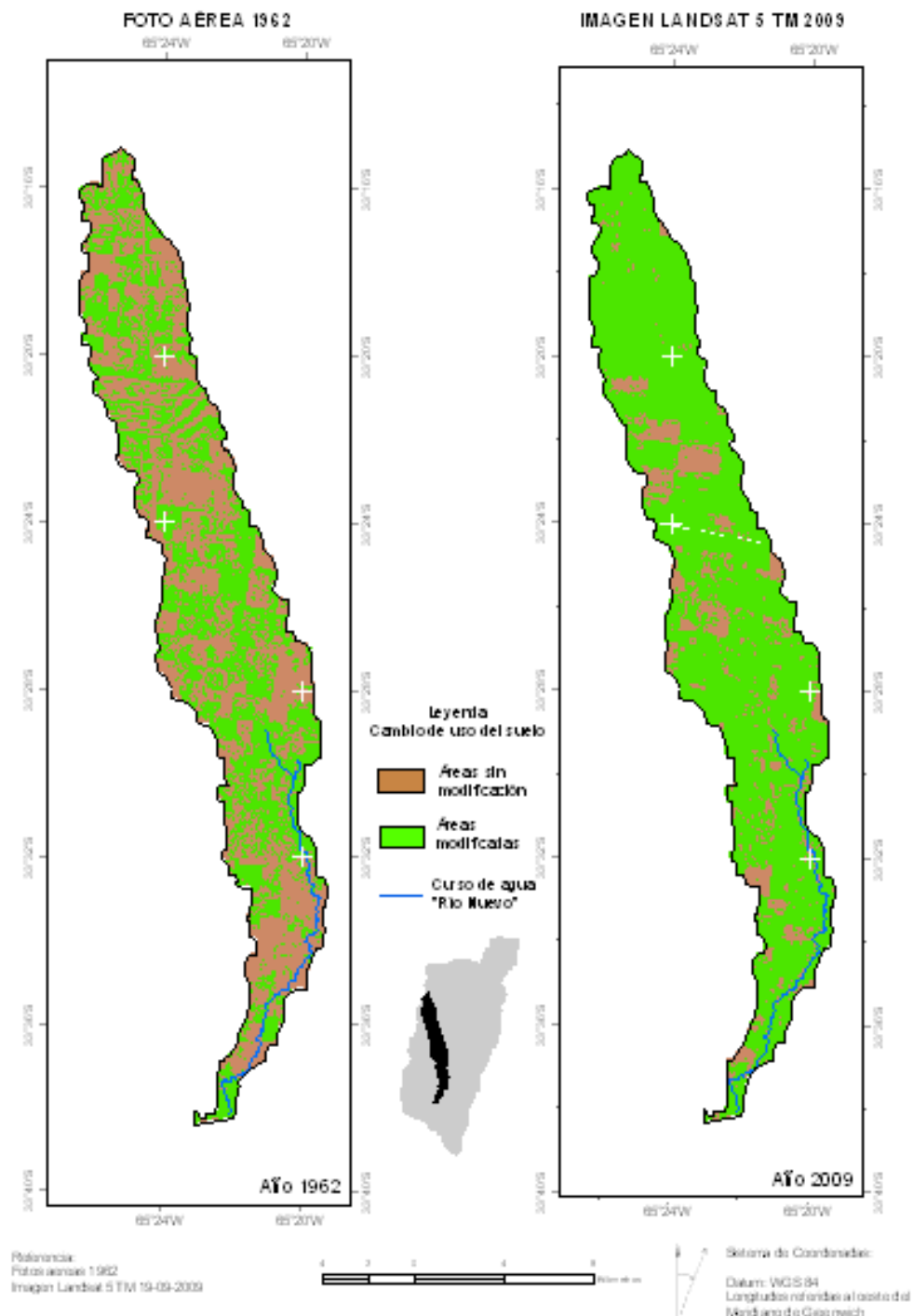


Figura 19: Cambios de uso del suelo y estructura del paisaje en la subcuenca 0642. Período 1962-2008.

El análisis verifica según lo señalado en la Figura 18, que en el período considerado de casi 50 años, los ambientes naturales han sido incorporados con fines agropecuarios (intensificación del color verde.)

CONSECUENCIAS AMBIENTALES

La organización de cualquier espacio territorial está supeditada a las características ambientales, la organización social (incluyendo los recursos culturales y financieros), las relaciones con el exterior (principalmente a través de las reglas del mercado) y la presión demográfica. La conjunción de estos factores, representa un modelo particular de aprovechamiento del territorio, que se manifiesta en unos determinados patrones de ocupación del espacio.

La agricultura es una de las actividades productivas que más depende de los recursos naturales, siendo su capital de producción indispensable el suelo. Los cultivos se sostienen en este sustrato y absorben sus nutrientes y agua. En este contexto, el laboreo de los suelos con fines productivos, puede inicialmente, mejorar la infiltración y, algunas veces, beneficiar el drenaje, pero con el tiempo, la labranza favorece la degradación de la estructura y la reducción de la tasa de infiltración; así, puede intuirse que el reemplazo de la cobertura de vegetación original, la tendencia creciente de las precipitaciones y la predominancia de las transferencias horizontales (escurrimiento), inducirán procesos erosivos hídricos.

En décadas pasadas, prácticas agrícolas y ganaderas inadecuadas, contribuyeron a la destrucción de hábitats, pérdida de biodiversidad, erosión de suelo, sedimentación de ríos y alteración del equilibrio de ecosistemas y paisajes a nivel de cuenca hidrográfica.

Con el propósito de caracterizar estas transformaciones y analizar el patrón de escurrimiento en un contexto espacio temporal, entre el año 1962 y 2008, fue analizada la subcuenca codificada con el número 0462 del descripto *Código de Pafstetter*. Con este fin fueron utilizadas fotografías aéreas pancromáticas e imágenes *Landsat TM* aplicando herramientas de análisis espacial para la evaluación del impacto desde una perspectiva geográfica. La Figura 20 sintetiza la evolución de estos procesos en la microcuenca 0642; en tanto la Figura 21 representa el fenómeno en la microcuenca 044 para el período 2007-2009.

PATRÓN TEMPORAL DE ESCURRIMIENTOS SUPERFICIALES

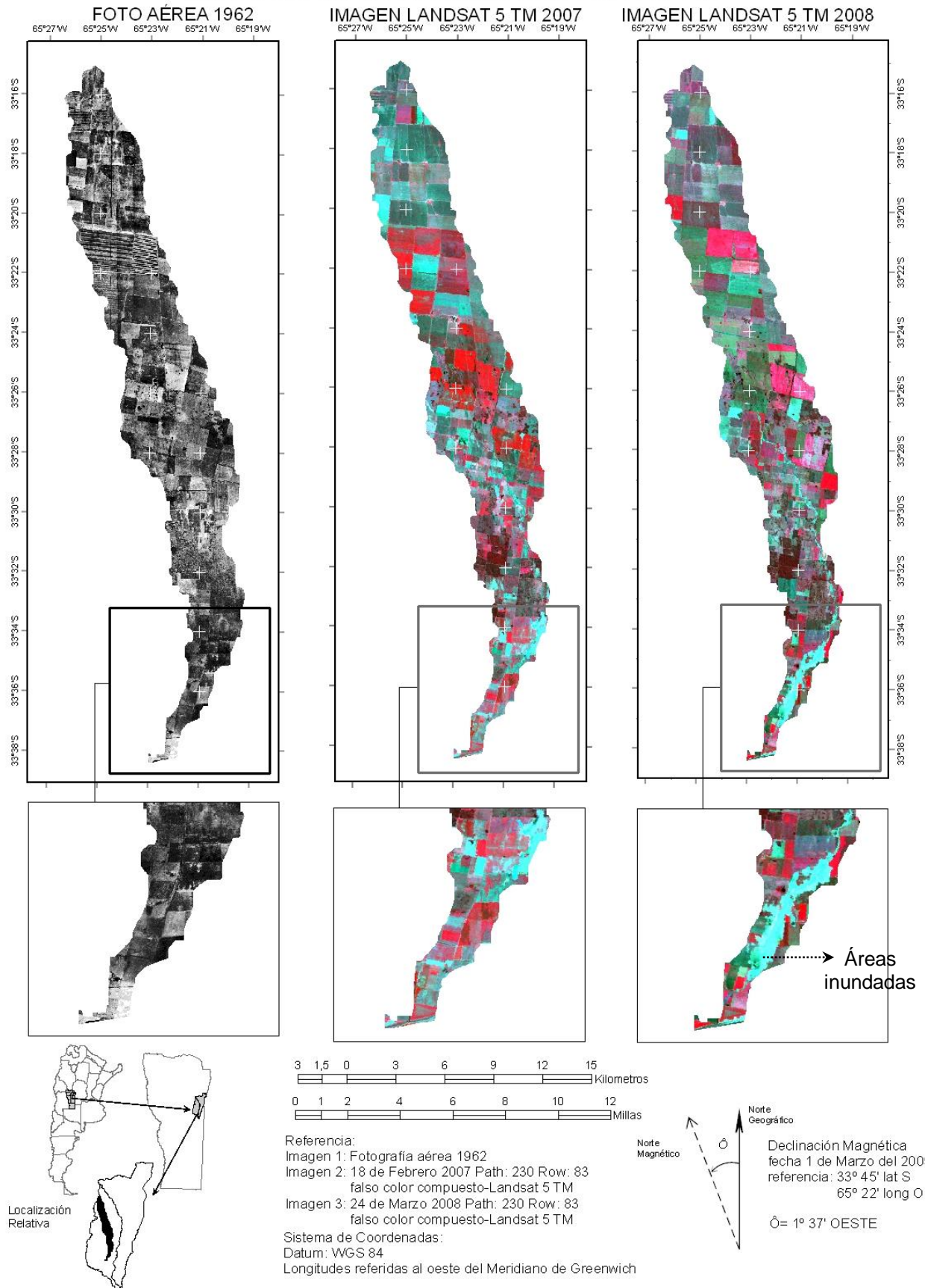


Figura 20: Evaluación multitemporal y detección de cambios en la microcuenca 0642. Período 1962-2008.

MICROCUENCA 044- EL MORRO
 AVANCE ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

Imagen satelital
 20/12/2007



Imagen satelital
 01/09/2008



Imagen satelital
 09/01/2009



Localización Relativa

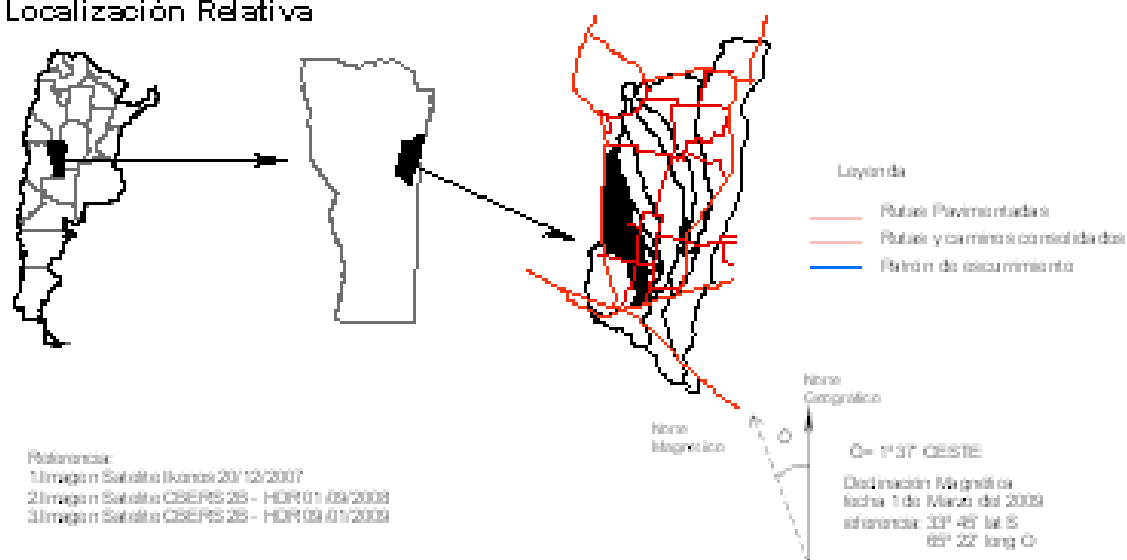


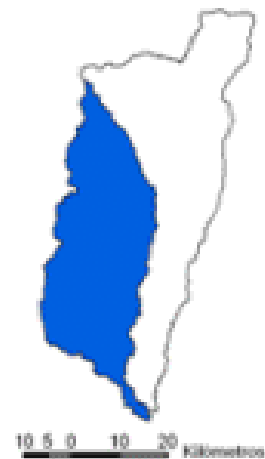
Figura 21: Evaluación multitemporal y detección de cambios en la microcuenca 044. Período 2007-2009.

Respecto de la morfometría y obtenidos los coeficientes morfométricos a nivel de microcuencas, se procedió a un nivel de generación mediante la agregación o agrupación de las mismas en dos subcuencas (1 y 2). Realizado el procedimiento, se efectuó el cálculo de los coeficientes morfométricos para cada una de ellas (Figuras 22 A, 22 B).

Morfometría Subcuenca 1 (Pfafstetter)

Area [ha]	95571
Perímetro[km]	207
L[km]	72,87
Kf	0,18
Kc	1,89
Hm(m)	667
Hmín(m)	436
Mmax(m)	1620
Dh(m)	1087
Sm(%)	1,88
S mín(%)	0
Smax(%)	37

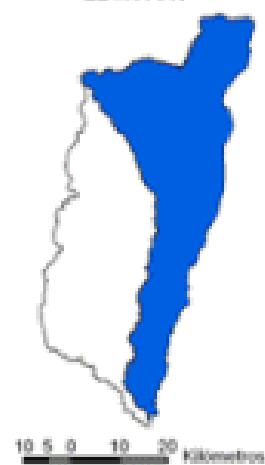
SUBCUENCA 1



Morfometría Subcuenca 2 (Pfafstetter)

Area [ha]	115773
Perímetro[km]	263
L[km]	86,73
Kf	0,15
Kc	2,1
Hm(m)	803
Hmín(m)	438
Mmax(m)	1712
Dh(m)	1277
Sm(%)	1,91
S mín(%)	0
Smax(%)	36

CODIFICACIÓN SUBCUENCAS
EL MORRO



Figuras 22 A, 22 B: Morfometría a nivel de subcuencas (1 y 2).

En un nuevo procedimiento de agregación de subcuencas y generalizando a nivel de cuenca, los coeficientes morfométricos calculados se expresan en la Figura 22 C.

Morfometría Cuenca El Morro (Pfafstetter)

Area (ha)	211388
Perímetro(km)	243
L(km)	88,98
Kf	0,28
Kc	1,49
Hm(m)	742
Hmín(m)	435
Mmax(m)	1712
Desvest H	195,95
Dh(m)	1277
Sm(%)	0,97
Smín(%)	0
Smax(%)	74
Desvest S	2,43



Figura 22 C: Morfometría a nivel de cuenca.

Una vez calculados los coeficientes morfométricos a nivel de microcuenca, subcuenca y cuenca fue retomado el análisis de los patrones de escorrentía. Los cursos de agua más importantes son longitudinales, obedeciendo al control estructural de las fracturas y a la vez sirven para indicar las líneas tectónicas principales.

A efectos de analizar el patrón de escurrimiento, se consideraron dos escenarios:

1. Contemplando el patrón de escurrimiento que se daría de forma natural y 2. Analizando cómo se modificaría dicho patrón por acción de obras de ingeniería mediante un trasvase, a efectos de una mejor gestión de la cuenca.

Los trasvases de cuenca son obras hidráulicas cuya finalidad es la de incrementar la disponibilidad de agua en una cuenca vecina. Los usos específicos del agua pueden ser los más variados, sin embargo los más comunes son:

- Abastecimiento de agua potable a ciudades con un número de habitantes superior al que podrían soportar los recursos hídricos de la cuenca en la cual se sitúa la ciudad.
- Riego, este tipo de obras se hace necesario cuando las tierras de buena calidad se encuentran en áreas con escasos recursos hídricos.
- Generación de energía hidroeléctrica. Estas obras son bastante frecuentes y es una forma de construir embalses más pequeños y maximizar el uso de la potencia instalada en la central hidroeléctrica.
- Para otros usos o con fines múltiples.

La Figura 23: representa el patrón de escurrimiento para uno y otro caso.

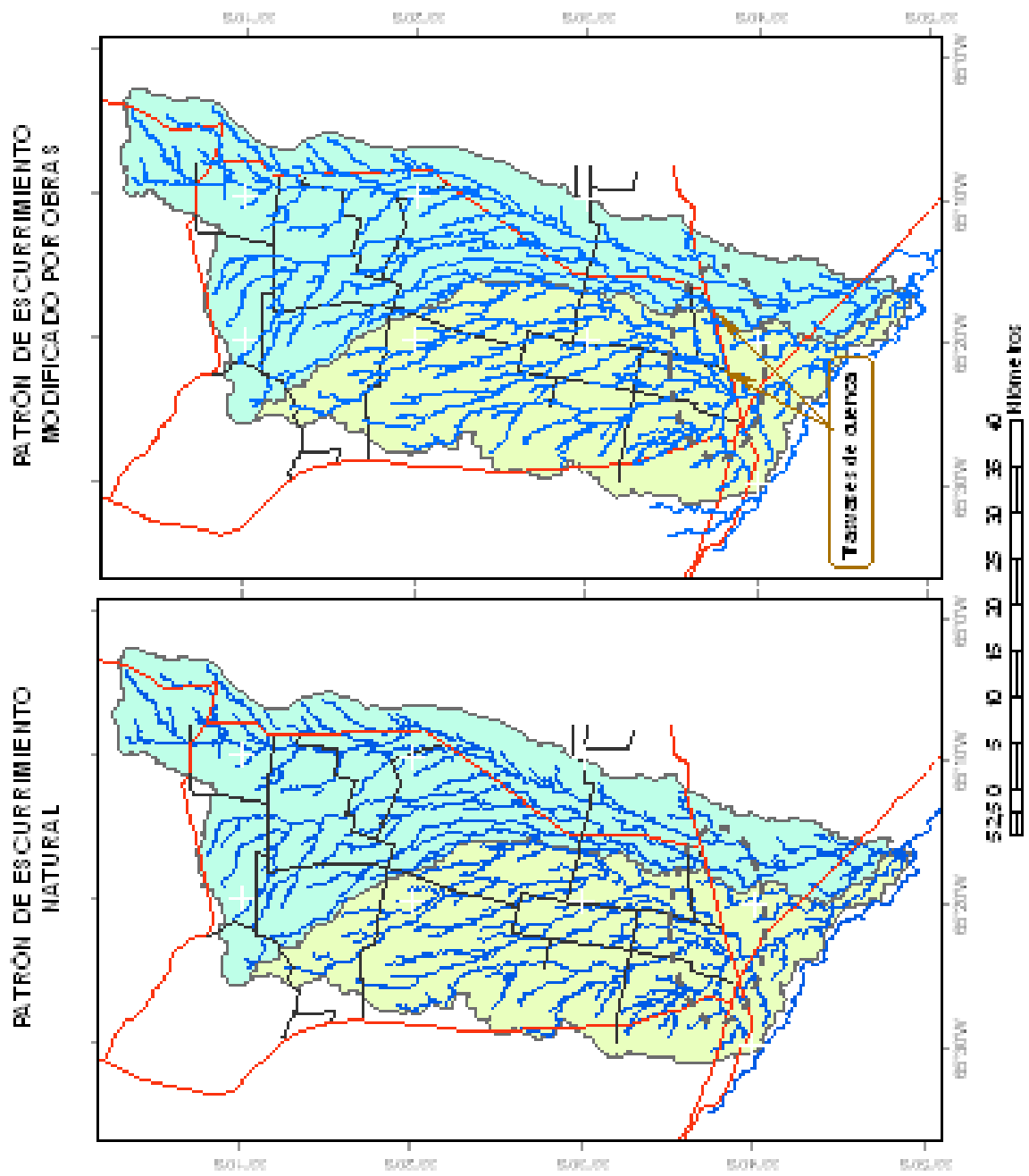
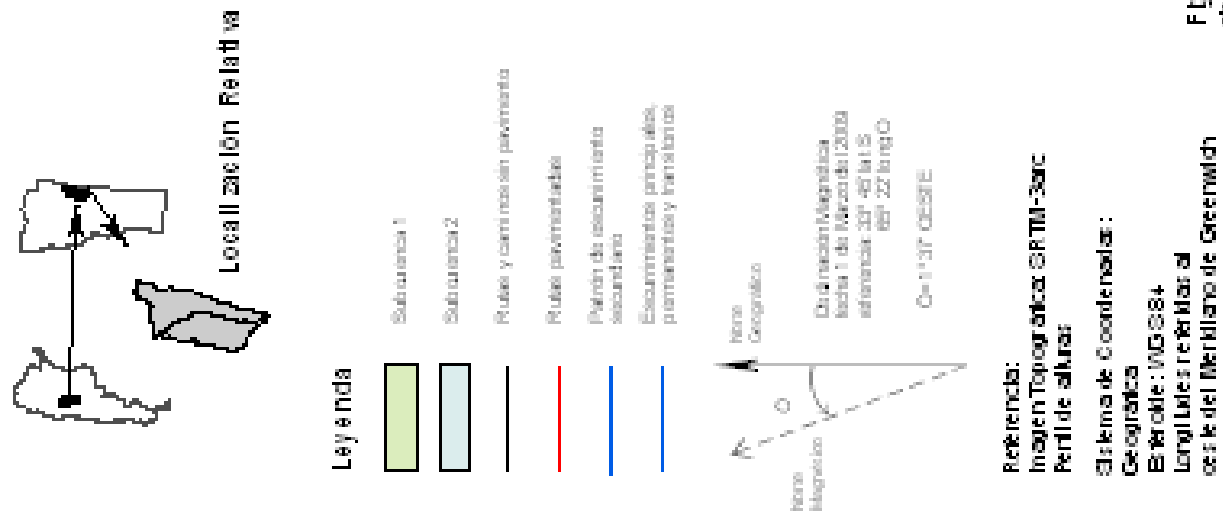


Figura 23: Caracterización de (patón) de drenaje o escurrimiento (potencial) en condiciones naturales y con el ruido obras de ingeniería (traspase de las aguas al Río Quilbo) para la gestión de la Cuenca

Finalmente y para complementar las actividades de campo en áreas de difícil acceso, se efectuó un vuelo a baja altura con el propósito de obtener fotografías aéreas georreferenciadas y verificar rasgos observados en las imágenes de fotografías aéreas disponibles. La Figura 24 sintetiza y proporciona la localización relativa del vuelo y los puntos georreferenciados correspondientes a las fotografías obtenidas con fines de verificación entre la realidad terrena y la representación cartográfica .

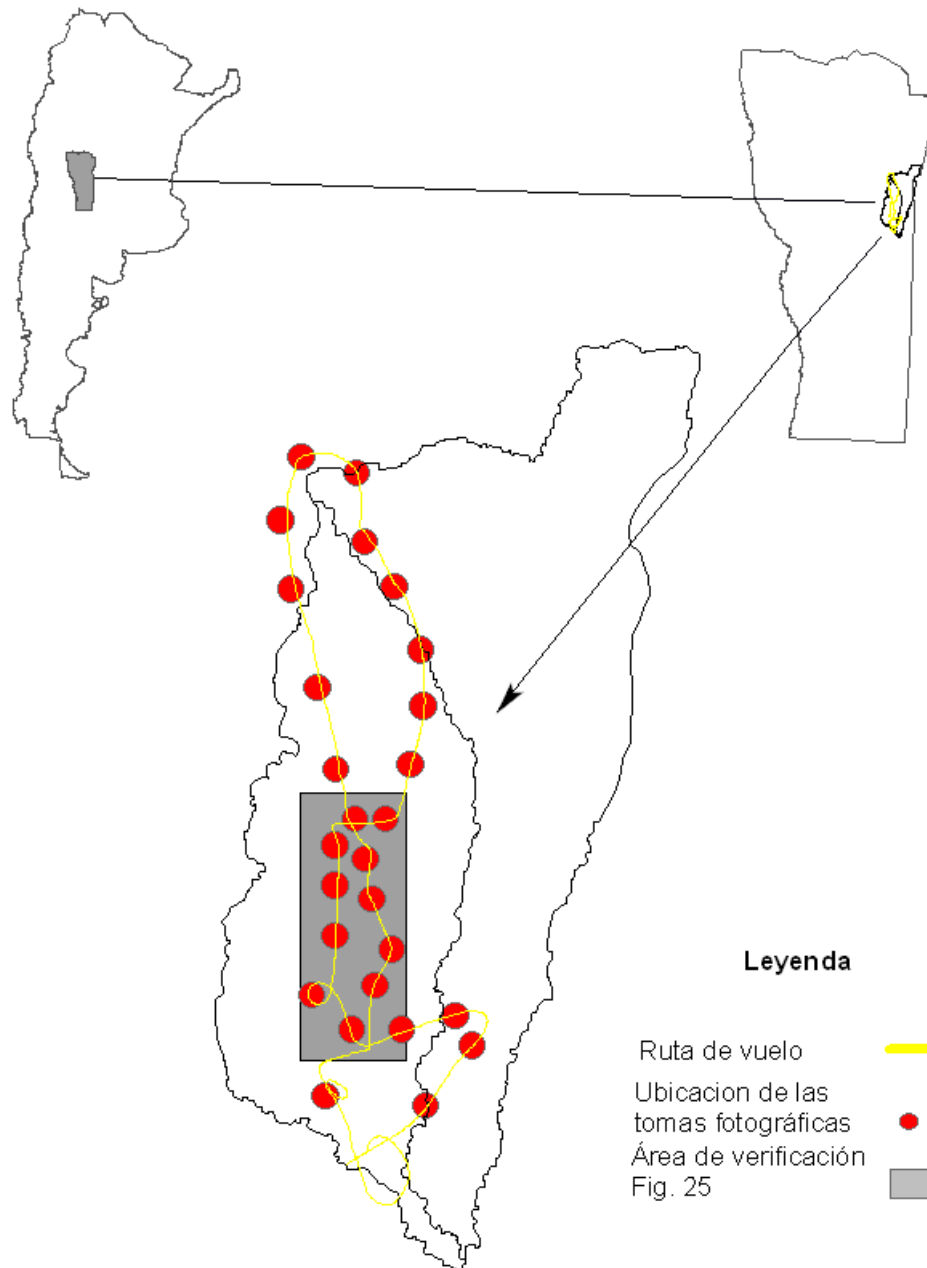


Figura 24: Ruta de vuelo sobre un área de la cuenca para la verificación y validación cartográfica.

La Figura 25, detalla las particularidades en áreas de interés en la cuenca de “El Morro”, fundamentalmente en la subcuenca 1.

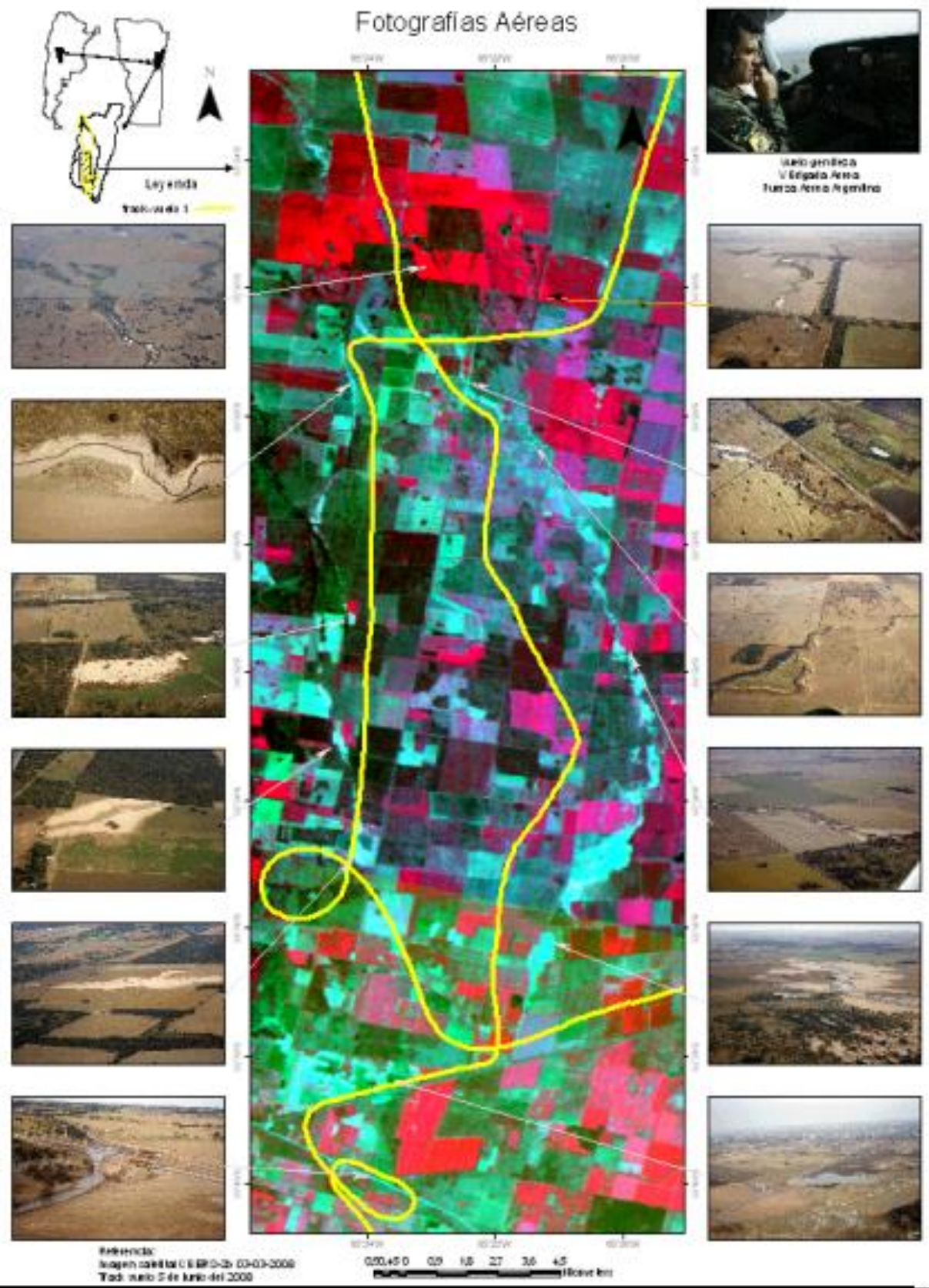


Figura 25: Detalle de la ruta de vuelo sobre un área de la cuenca para la verificación y validación cartográfica.

REDLACH: EL DESARROLLO DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS A NIVEL NACIONAL Y REGIONAL

Con el propósito de progresar en el manejo de las cuencas hidrográficas y en la promoción del desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe, se creó en 1980, la Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Manejo de Cuencas Hidrográficas (*REDLACH*), con el apoyo de la Oficina Regional para América Latina y el Caribe de la FAO. La iniciativa surge de una reunión de instituciones vinculadas al manejo de cuencas de varios países de Latinoamérica, realizada en Cali, Colombia, quedando inicialmente constituida por Argentina, Brasil, Bolivia, Colombia, Chile, Ecuador, México y Perú.

La *REDLACH*, es un mecanismo de carácter técnico, constituido por instituciones, ya sean públicas y privadas o autónomas de países miembros de la Red. El propósito general de la Red es aumentar progresivamente la capacidad tecnológica de los países a través del intercambio de experiencias y conocimientos, la cooperación técnica horizontal y la promoción de programas y proyectos de inversión en manejo de cuencas.

La FAO, a través de su Oficina Regional para América Latina y el Caribe, tiene un papel como propulsora y catalizadora de la Red. Asimismo, presta colaboración técnica directa, coordina esfuerzos afines, distribuye información sobre esto, da difusión a las actividades y resultados de la *REDLACH* y colabora en las acciones de seguimiento.

La *REDLACH* está constituida por Coordinaciones Nacionales y una Coordinación Regional. En el ámbito nacional de cada país, la Coordinación Nacional estará a cargo de una institución acreditada por el propio país para tal fin. La Coordinación Regional es desempeñada por un Coordinador Nacional elegido por los demás Coordinadores Nacionales.

En la actualidad la *REDLACH* está integrada por Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, Chile, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, Uruguay y Venezuela.

El rol de la *REDLACH* se centra en facilitar el intercambio de información y promover la cooperación técnica entre países, a través del desarrollo de las siguientes actividades:

1. Difundir conocimientos y experiencias válidas extrapolables a los restantes países de la región, con respecto al uso, conservación, protección de los recursos naturales y la participación de las comunidades en las cuencas hidrográficas.
2. Consolidar el concepto de cuenca hidrográfica como unidad física de gestión y motivar su aplicación a nivel gubernamental en cada uno de los países de la Red.
3. Fortalecer el proceso de intercambio de información y cooperación técnica entre los países miembros de la *REDLACH* y en particular los procesos de capacitación a todo nivel.
4. Promover la unificación de criterios con respecto al marco conceptual y metodológico aplicable al manejo y conservación de las cuencas hidrográficas.
5. Estrechar el vínculo y promover actividades conjuntas entre la *REDLACH* y los organismos de cooperación técnica y de financiamiento multilateral.
6. Identificar y promover estrategias regionales y acciones de manejo en cuencas compartidas, para establecer un plan de acción entre los países de América Latina y el Caribe.

OBJETIVOS DE UNA RED DE CUENCAS

1. Buscar la complementación técnica de los organismos públicos y privados vinculados al manejo de cuencas hidrográficas.
2. Articular a las instituciones que administran las normativas vigentes sobre el uso de los recursos existentes en las cuencas.

3. Unificar criterios entre los distintos organismos que tienen intervención en las cuencas, previo a formular las estrategias o a ejecutar programas de desarrollo.
4. Fijar un marco de referencia, coordinando las acciones técnicas, legales y financieras.
5. Orientar el desarrollo integrado y sostenible, con criterios de eficacia y equidad.
6. Generar alternativas de acción:
7. Acordes a los recursos disponibles.
8. Viables para ser llevados a la práctica.
9. Políticamente factibles para que sean tomados como elementos efectivos de decisión.

MODALIDAD DE ACCIÓN DE UNA RED NACIONAL DE CUENCAS

Debe tener:

10. Plena coordinación entre los actores participantes de la cuenca,
11. Autoridad de gestión de sus integrantes para la toma de decisiones,
12. Capacidad de emitir mandatos claros,
13. Exigir resultados y asegurar la continuidad de acciones.

Debe enfocar el desarrollo:

14. Desde adentro: con sistemas de asistencia técnica, fomentando la autogestión,
15. Desde afuera: con intervención en programas regionales y nacionales,
16. Sistematizándolos en un enfoque común, conciliando los distintos intereses, aunando los esfuerzos y encaminando las gestiones en forma interinstitucional y multisectorial.

Debe compatibilizar:

17. Los intereses de los distintos sectores involucrados,
18. La producción con la conservación de los recursos naturales,
19. La calidad de vida de sus habitantes con el equilibrio del medio ambiente,
20. El manejo de las cuencas hidrográficas con las políticas y estrategias de desarrollo nacional.

Actividades a realizar

1. Definir el concepto, alcances y caracterizaciones de manejo integrado y sustentable de cuencas hidrográficas.
2. Fomentar la creación y promover las actividades de los Comités locales de cada una de las cuencas nacionales.
3. Realizar cursos de capacitación y de extensión, tanto para técnicos como para habitantes de la comuna.
4. Organizar talleres, congresos y seminarios para difundir los conocimientos sobre el tema.
5. Crear un banco de información sobre manejo integrado de cuencas hidrográficas.
6. Promover la creación de cuencas demostrativas con aplicación de manejo integrado.
7. Realizar giras técnicas por las distintas cuencas nacionales.
8. Mantener un intercambio fluido con los países integrantes de la Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Manejo de Cuencas Hidrográficas.

9. Conseguir financiamiento para realizar actividades de promoción y desarrollo en el tema.
10. Propender a que se consolide y se aplique el concepto de desarrollo integrado y sostenible de las cuencas hidrográficas con un enfoque interinstitucional y multisectorial, tendiente a lograr la mejora del nivel de vida de sus habitantes y el equilibrio de su medio ambiente.

MARCO JURÍDICO A NIVEL NACIONAL

La Ley N° 22.428 según el Decreto reglamentario N° 681/81, define que la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (SAGPYA) establece cuales son los procesos de degradación de origen antrópico que serán considerados prioritarios a los efectos del otorgamiento de los beneficios federales. Es quien además promueve la constitución de Consorcios de conservación y manejo de suelos dentro de los distritos, y la incorporación de áreas demostrativas de prácticas conservacionistas.

No obstante, la entidad encargada de fijar y ejecutar la política hídrica nacional es la Subsecretaría de Recursos Hídricos (perteneciente al Ministerio de Infraestructura y Vivienda), en la práctica la autoridad sobre estos recursos es muy fragmentada o difusa.

Ello se debe a que en Argentina no existe una legislación nacional de aguas que abarque todo el ámbito del territorio nacional, por lo que las provincias tenían un gran poder para definir sus propias políticas sobre agua, promulgando leyes o códigos de agua que establecían, para su jurisdicción, las prioridades de uso del agua, clasificación de los usos, régimen de concesiones y procedimientos.

Las provincias ostentan el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio, cuyas características diversas según los principales intereses y conflictos se expresan en diferentes tipos de legislación. De esta manera, los organismos competentes tienen serias dificultades técnicas y operativas que limitan la capacidad de los mismos de instrumentar políticas, desarrollar una gestión eficiente y ejercer el poder de policía.

Se considera que esta legislación es poco flexible para incorporar elementos que permitan determinar con precisión el valor económico, social y ambiental del agua. Otro problema, propiciado por la situación mencionada, es que la aplicación y control de la legislación vigente es deficiente, lo que se traduce en un incumplimiento generalizado de las normas.

Sin embargo, a partir de la Reforma Constitucional de 1994, que encarga a la Nación la responsabilidad de establecer los presupuestos mínimos de protección ambiental y a las provincias la de elaborar la legislación complementaria, se espera superar gradualmente esta situación. El Congreso Nacional cuenta con algunos proyectos de ley en proceso de trámite y consulta sobre ordenamiento ambiental, el sistema nacional de información ambiental, la clasificación de cursos de agua según usos, estándares de calidad ambiental, red de registro de vertidos a cuerpos y cursos de agua, como así también títulos de reducción de contaminación entre otros aspectos.

LA LEGISLACIÓN EN LA PROVINCIA DE SAN LUIS

Los procesos erosivos en la provincia de San Luis, han inducido en el marco jurídico a promulgar la Ley de Protección y Conservación de Suelos IX-0315-2004 reglamentada por el *Decreto 2651 MdelIC-2007*. La misma define la protección y conservación de suelos de la provincia con el objetivo de mantener su capacidad productiva real y potencial; para ello se aplicarán prácticas de manejo tendientes a disminuir los procesos de degradación de origen natural y/o antrópico.

En estas circunstancias, se diagrama la conformación de Comisiones de Estudio para la zonificación de áreas con riesgo de erosión, agotamiento por exportación de nutrientes, decapitación, anegamiento y/o contaminación, las cuales podrán ser supervisadas anualmente. De acuerdo con estas zonas y según la magnitud del proceso erosivo, se han establecido Distritos de Conservación y Manejo Obligatorio y de Manejo Voluntario de suelos.-

La Resolución N° 24 emanada del Ministerio del Campo del año 2007, determina como área de suelo deteriorada por Erosión y Distritos de Conservación y Manejo Obligatorio de suelos al área ocupada por las cuencas “El Morro”, “La Petra” y “El Amparo”, donde deben llevarse a cabo prácticas de conservación y manejo de suelos, de acuerdo al grado de deterioro y mediante un plan de conservación, que deberá presentarse ante el Ministerio del Campo. A tal fin se aprobó el Manual de Prácticas de Conservación de suelos afectados por Erosión Hídrica.

El conjunto de prácticas que integran este Catálogo, considera un conjunto de prácticas destinadas a disminuir la incidencia de la erosión hídrica en los suelos de la provincia de San Luis, entre las que figuran: barbecho cubierto, manejo del rastrojo, sistemas de labranzas conservacionistas, rotación de cultivos, técnicas de manejo del pastoreo, cultivos o pasturas cortando la pendiente, cultivos en franjas en contorno, terrazas de desagües, terrazas de absorción o a nivel, desagüe vegetado o canal empastado, bordos a nivel, canal interceptor de desvío o de guarda, defensa de cabeceras de cárcavas, técnicas de recuperación de cárcavas y estructuras reguladoras y retardadoras del escurrimiento.

CONSEJO INTERPROVINCIAL DE MINISTROS DE OBRAS PÚBLICAS (CIMOP) LA VISIÓN DE LA CUENCA DEL RIO QUINTO

La cuenca del río Quinto es de carácter interprovincial y pertenece al Sistema Pampeano (*SSRH, 2002*). Con sus nacientes en la provincia de San Luis, drena el faldeo oriental de la sierra homónima. El área posee una superficie de 34.360 km², abarcando parte de las provincias de San Luis y Córdoba, sus áreas bajas llegan a las provincias de La Pampa, Santa Fe y Buenos Aires, entre latitudes 32° y 36° sur y longitudes 62° y 65° oeste.

El tratamiento de la cuenca del río Quinto requiere de una planificación y gestión hidrológica moderna, que permita interactuar entre lo hídrico, ambiental, geográfico, social, productivo, vulnerabilidad y riesgo hídrico.

Se ha ido gestando un organismo interprovincial de estudio y manejo integral de la cuenca, que ha homologado el Tratado Interprovincial que promueve la formación del Comité Interjurisdiccional de la Región Hídrica del Noroeste de la Llanura Pampeana - *CIRHNOP*. En este organismo se acuerdan las acciones estructurales y no estructurales para el desarrollo sustentable que actualmente es de nivel técnico.

Es necesario darle el máximo nivel institucional con la ratificación política de los Gobernadores de las Provincias de Buenos Aires, Córdoba, La Pampa, San Luis y Santa Fe; y los Ministros del Interior y de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios del Estado Nacional, a los efectos de consensuar y planificar las acciones a desarrollar.

C^a “EL MORRO”: SITUACIÓN ACTUAL Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Con fecha 30.11.09, debido a la crecida del “río Nuevo”, las escorrentías y el barro acumulado en la carretera, se produce una interrupción en el kilómetro 696, cerca de la localidad cordobesa de Chaján a 45 kilómetros de Villa Mercedes y a 95 kilómetros de Río Cuarto con diversas consecuencias.

Recientemente, las precipitaciones del 31 de diciembre de 2009 y las nuevas corrientes de agua, produjeron barrancas de hasta cuatro metros de profundidad sobre la

ruta provincial 33, camino que comunica Villa Mercedes y la localidad de La Punilla, afectando a muchos productores de la Colonia “Los Manantiales”.

Se advierte con preocupación que desde hace 25 años una extensa región de este Departamento comprendida por Colonia “Los Manantiales”, el este de la localidad de Juan Jorba, Colonia La Cordobesa y el sector oeste de la ruta 55 (ex ruta 148), en un área aproximada a las 200 mil hectáreas con alta potencialidad agrícola-ganadera, se encontraba afectada por este fenómeno provocado por las aguas subterráneas y superficiales (www.eldiariodelarepublica.com).

La actual situación, descrita precedentemente demanda la continuidad de los trabajos y el abordaje de futuras líneas de investigación desde la EEA San Luis del INTA y entre las que se proponen:

1. El rol productivo de las cuencas hidrográficas en la provincia de San Luis.
2. Zonificación Agroambiental para la ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas en la Provincia de San Luis.
3. Indicadores agroambientales (suelo y agua) para la evaluación de la sustentabilidad de sistemas productivos en áreas sujetas a cambios en el uso de la tierra (a nivel de cuenca)

Las dos primeras corresponden a Proyectos Técnicos Regionales y la tercera al Proyecto Específico *PNECO-093012* a desarrollarse en el ámbito del Programa Nacional de Ecorregiones.

Dada las características de la cuenca de “El Morro” y las particularidades de las escorrentías representadas por el “*rio Nuevo*”, una interesante línea de investigación que debería abordarse en el futuro, es el Uso del radar de penetración de tierra (*Ground Penetrating Radar - GPR*) para el análisis de estructuras subterráneas e inspección del subsuelo.

La propuesta metodológica representa una nueva estrategia para la caracterización geotécnica de suelos a partir de radargramas considerando 4 aspectos fundamentales:

1. La aplicación de la técnica de *GPR* y datos complementarios para la caracterización geotécnica de los suelos, puede resultar de interés para la identificación del volumen y la conductividad del agua.
2. Una baja penetración representada en los radargramas es un indicativo de la presencia de grandes volúmenes de agua en los estratos (debido a la conductividad eléctrica).
3. La frecuencia de las antenas seleccionadas, determina la resolución y la profundidad de observación en los radargramas.
4. El conocimiento edáfico o litológico previo del área a examinar, son factores útiles en la interpretación de los radargramas y determinan las posibilidades y limitaciones del objetivo y método de prospección.

CONCLUSIONES

1. Las cuencas endorreicas son propias del centro y noroeste del país, así como en grandes superficies de la meseta patagónica y llanura pampeana. Estos ambientes representan un 30% del territorio nacional y un 1% de los recursos hídricos superficiales. Ello implica que en relación al resto del país, el agua es escasa y su gestión adquiere una gran relevancia económica y social.
2. La región estudiada no ha recibido una adecuada gestión y presenta manifestaciones de erosión hídrica superficial del tipo laminar, por surcos y cárcavas.

3. Se identifican en la subcuenca diferentes patrones de drenaje: radiales, dendríticos, subdendríticos y meandriformes.
4. No existe una problemática del agua en sí, sino la suma de varios y diferentes problemas diversos que se conjugan que a veces se entrecruzan o divergen, problemas antiguos que desaparecen o nuevos que emergen.
5. Se requiere una profundización de los estudios a nivel de cuencas y subcuencas en la provincia de San Luis y de los flujos de agua tanto superficiales como subsuperficiales.
6. El desarrollo de los recursos hídricos y su manejo debe basarse en un enfoque participativo, involucrando a todos los usuarios, planificadores y formuladores de política a todos los niveles
7. Resulta necesario integrar la *Red REDLACH* y buscar la complementación técnica de los organismos públicos y privados provinciales, nacionales e internacionales vinculados al manejo de cuencas hidrográficas.
8. Las Geotecnologías representan herramientas de interés para el diagnóstico y la dinámica espacio-temporal del fenómeno y deben ser aplicadas para este tipo de estudios a nivel regional
9. Las cuencas hidrográficas permiten el asiento de población, proveen alimentos, cumplen funciones ecológicas (ciclo hidrológico y ciclos biogeoquímicos), preservan la biodiversidad, depuran las aguas y poseen atributos paisajísticos que permiten actividades culturales, turísticas y residenciales. A este tipo de ofertas para la sociedad se los denomina servicios ecológicos (*SE*). Este enfoque de *SE* debería ser incorporado al ordenamiento territorial.

LISTA DE SIGLAS EMPLEADAS

AGNPS: Agricultural Nonpoint Source Pollution Model.

ANSWERS: Areal Non-point Source Watershed Environment Response Simulation.

ASI: Agenzia Spaziale Italiana.

ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer.

CBERS: China - Brasil Earth Resources Satellites.

CNIE: Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales.

CONAE: Comisión Nacional de Actividades Espaciales.

DEM: Digital Elevation Model.

DLR's: German Remote Sensing Data Center.

DSS: Decision Support Systems.

DTM's: Digital Terrain Models.

EPIC: Erosion Productivity Impact Calculator.

EUROSEM: European Soil Erosion Model.

GLEAMS: Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems.

GPS: Global Positioning System.

GUEST: Griffith University Erosion System Template.

HydroSHEDS: Hydrological data and maps based on Shuttle Elevation Derivatives at multiple Scales.

IGM: Instituto Geográfico Militar de Argentina.

Landsat TM: Landsat Thematic Mapper.

LISEM: Limburg Soil Erosion Model.

MDT: Modelo Digital del Terreno.

MED: Modelo de Elevación Digital.

MEDALUS: family of Models MEDBRUSH and CSEP.

MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer.

NASA: National Aeronautics and Space Administration.

NGA: National Geospatial-Intelligence Agency.

PSA: Pago por Servicios Ambientales.

RMS: Root Mean Square.

RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation.

SHETRAN: Sistema de modelado hidrológico para el flujo de agua, el transporte de solutos y sedimentos en cuencas fluviales.

SHESED: Componente de producción de sedimentos y erosión de base física y distribución espacial para su uso a escala de cuenca.

SIG: Sistemas de Información Geográfica.

SRTM: Shuttle Radar Topographic Mission.

SWAT: Soil and Water Assessment Toll.

WEPP: Water Erosion Prediction Project.

BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, M.; Torres, H.; Ruiz, R., 2007. Memoria Descriptiva del Proyecto Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas del Perú. IRH - INRENA, Perú.

Anderson, D.L., 1985. Manejo de las cuencas hidrográficas de San Luis: Primera Prioridad. Informativo Rural EEA San Luis, INTA, N° 21, pág. 1-2.

Andrade Pérez, A. y Navarrete Le Blas, F., 2004. Lineamientos para la aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integral del recurso hídrico. Serie Manuales de Educación y Capacitación Ambiental. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - PNUMA - Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Red de Formación Ambiental. 111 pág.

<http://www.pnuma.org/educamb/documentos/Lineamientos.pdf>

Basile, Pedro A., Riccardi, Gerardo A. y Stenta, Hernán, 2005. Modelación de la producción de sedimentos a escala de cuenca en el sistema del arroyo Ludueña, Santa Fé, Argentina. XX Congreso Nacional del Agua - Mendoza, 16 pág.

Barbeito, Osvaldo, Beltramone Carlos, y Contreras Pedro, 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, 26 de noviembre de 2008.

Barbeito, O., Beltramone, C., Ambrosino S., Contreras, P., Quintana Salvat, F., Moya, G. y Barrera, F., 2009. Informe de avance, Proyecto "Estudio geomorfológico de la Cuenca del Morro, Departamento Pedernera, San Luis. INA, 56 pág.

Bosque Sendra, J., 1992. Sistemas de Información Geográfica, Madrid, Ediciones RIALP, 451 pág.

Bosque Sendra, J., Escobar M., F., García H., E. y Salado G., M.J. 1994. Sistemas de Información Geográfica: Prácticas con PC ARC/INFO e IDRISI. Madrid, RA-MA Editorial, 478 pág.

Burton, A. and Bathurst, J.C., 1998. Physically based modeling of shallow landslide sediment yield at a catchment scale, Environmental Geology, 35, 89-99.

Cantón Castilla, Yolanda, 1999. Efectos hidrológicos y geomorfológicos de la cubierta y propiedades del suelo en paisaje de cárcavas. Tesis Doctoral, Universidad de Almería, España. 404 pág.

Collado, A.D., 1998. Cobertura del suelo y desertificación en el centro-sur de la provincia de San Luis, Argentina. Evaluación multitemporal mediante técnicas de teledetección. Tesis Doctoral, Dpto. de Geografía, Universidad de Alcalá de Henares, Madrid.

Collado, A.D., Chuvieco, E. y Camarasa, A., 2002. Satellite remote sensing analysis to monitor desertification processes in the crop-rangeland boundary of Argentina. Journal of Arid Environments - JARE 52: 121-133.

Dahlke, H., Helmschrot, J., and Behrens, T. 2005. A GIS - Based Terrain Análisis Approach for Wetland Inventory in the Semi-Arid Headwaters of the Umzimvubu Basin, South Africa.

de la Rosa, D., Cromptvoets, J., Mayol, F. y Moreno, J. A., 2002. MicroLEIS 4.1 Land Evaluation Information System. Aplicación de Modelos en la Web. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla - IRNAS-CSIC.

<http://www.irnase.csic.es/users/microleis/microlei/microlei2.htm>

De Roo, A. P. J., Jetten, V. G. 1999. Calibrating and validating the LISEM model for two data sets from the Netherlands and South Africa. Department of Physical Geography, Utrecht University, Utrecht, Netherlands.

Diario Digital Crónica de San Luis, 2009. Redacción Villa Mercedes, edición 5/10/2009, San Luis.

<http://www.cronicadesanluis.com.ar>

Echevarría, L.A., 1985. Informe sobre la Cuenca de "El Morro". Inédito.

El Diario de La República (San Luis), 2010. 26.01.2010; Año XLIII N°18.408; pág. 8.

<http://www.eldiariodelarepublica.com>.

EPIC - Environmental Policy Integrated Climate (Williams et al., 1984; Sharpley and Williams, 1990; Williams, 1995).

FAO, 1984. Directrices para el control de la degradación de los suelos, FAO, PNUMA, Roma.

FAO/REDLACH, 2004. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Manejo de Cuencas Hidrográficas (REDLACH). Foro Electrónico Sobre Sistemas de pago por Servicios Ambientales en Cuencas Hidrográficas. Santiago, Chile, 27 pág.

Fernandes, M.R.; Silva, J.C., 1994. Programa Estadual de Manejo de Sub-bacias Hidrográficas: fundamentos e estratégias, Belo Horizonte-MG: EMATER-MG, 24 pág.

Faustino, J.; Jiménez, F., 2000. Manejo de Cuencas Hidrográficas. CATIE, Turrialba, Costa Rica

Flanagan, D.C.; Laflen, J.M. 1997. The USDA Water Erosion Prediction Project (WEPP). National Soil Erosion Research Laboratory, W. Lafayette, IN, ETATS-UNIS. United States

Gaspari, F.J., Vázquez, M. y Lanfranco, j., 2006. Relación entre la erosión hídrica superficial y la distribución de la pérdida de calcio, magnesio y potasio del suelo. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata 106 (1), pág 47-56. ISSN 0041-8676, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina.

Gómez Amelia, D. y Schnabel, S., 1996. Hidrología y erosión en ambientes de pastoreo extensivo. En: Erosión y Recuperación de Tierras en Áreas Marginales; Lasanta T. y García Ruiz, Eds. Instituto de Estudios Riojanos, Sociedad Española de Geomorfología, pág. 138-154.

Gómez Jiménez, I., Romero Calcerrada, R. y Beneitez López, J. M., 2007. Consideración de la dinámica espacio-temporal para la definición de actuaciones defensivas contra la erosión. *GeoFocus (Artículos)*, nº 7, pág. 1-22. ISSN: 1578-5157.

Heras, Rafael, 1970. Manual de Hidrología. Centro de Estudios Hidrográficos. Madrid.1970.

Jeffrey, G., 2007. Valoración Económica de las Cuencas Hidrográficas. Una Herramienta para el Mejoramiento de la Gestión de los Recursos Hídricos. Documento para el VI Diálogo Interamericano sobre la Gestión del Agua; Guatemala.

Jofré, E., 2008. Una mirada del nuevo río desde el cielo. *Diario de La República*, 29.06.08, pág. 10-11.

Lehner, Bernhard, 2005. Global SRTM Derivatives for Hydrological Applications at Multiple Scales. The Shuttle Radar Topography Mission, Data Validation and Applications Workshop, Reston, Virginia, U.S.A.

Kirkby, M. J.; Abrahart, R.; McMahon, M. D.; Shao, J.; Thornes, J.B.1998. MEDALUS soil erosion models for global change. School of Geography, University of Leeds, Leeds, ROYAUME-UNI. London.-

Kirkby, M., 2001. Modelling the interactions between soil surface properties and water erosion. *Catena* 46 2001 89-102.
www.elsevier.com/locate/catena

Ludueña, S. y Giraut, M.A., 2000. Actualización de cartografía hídrica a partir de la utilización de escenas Quick Look. Propuesta alternativa. IX Latin American Symposium on Remote Sensing & XIX Reunión Plenaria SELPER. Puerto Iguazú, Misiones, Argentina. 6 - 10 de Noviembre de 2000.

Llovet Lopez, Joan., 2005. Degradación de suelo posterior al fuego en condiciones mediterráneas. Identificación de factores de riesgo. Tesis Doctoral, Departamento de Ecología (CEAM) ap. 99 E-03080, Universidad de Alicante, España.

Maathuis, B.H.P., 2006. Digital Elevation Model Based Hydro-processing; *Geocarto International*, Vol. 21, N°. 1, pág. 19-26.

MEDALUS family of Models: MEDBRUSH and CSEP (Kirkby, 1998).

Michelena, R.O. e Irurtia, C.B., 2003. Índices para conocer el estado de degradación y la salud de los suelos.
http://www.insuelos.org.ar/Informes/Indice_para_conocer_la_salud_del_suelo.htm

Moglen, G.E. y Maidment,D.R., 2005. Digital Elevation Model Analysis and Geographic Information Systems. *Encyclopedia of Hydrological Sciences*. Edited by M G Anderson. 2005 John Wiley & Sons, Ltd.

Morgan, R.P.C., Quinton, J.N., Smith, R.E., Govers, G., Poesen, J.W.A., Auerswald, K., Chisci, G., Torri, D., Styczen, M.E., Folly, A.J.V. 1998. The European soil erosion model (EUROSEM): documentation and user guide. Silsoe College, Cranfield University.

Naciones Unidas, 2007. A/AC.105/890 Asamblea General; Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos, 50º período de sesiones, 50 pág.
http://www.unoosa.org/pdf/reports/ac105/AC105_890S.pdf

Nanía, L. S. y Gómez Valentín, M., 2006. Ingeniería Hidrológica, 2º Edición. Grupo Editorial Universitario, 278 pág.

Nanía Escobar, L.S, Ortiz, P. y Molero, E., 2009. Curso de Especialización sobre Modelación de Ríos con HEC-RAS y GeoRAS: Régimen Permanente 1-D. Instituto Universitario del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Murcia, 28-30.10.2009.

Narayanan, R. 2002. A report on watershed models.
<http://Abe.www.ecn.purdue.edu/~narayanan/models.pdf>

Nicks, A.D., 1998. GLEAMS Model Evaluation – Hydrology and Erosion Components. USDA - Agricultural Research Service – National Agricultural Water Quality Laboratory. Durant. USA.-

Oñate Valdivieso, F., 2007. Extracción de Modelos de Elevación Digital a partir de Imágenes ASTER para la determinación de características morfométricas de cuencas hidrográficas. Trabajo de Investigación Tutelado. Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá de Henares.

Orúe, M. Eugenia, Lateria, Pedro y Cabria, Fabián, 2007. Expansión de la frontera agrícola en Argentina y erosión hídrica: mapas de riesgo utilizando el modelo USLE con apoyo de SIG. XII Congreso de la Asociación Española de Teledetección, Mar del Plata, Argentina.

Pando Moreno, M.; Gutiérrez Gutiérrez, M.; Maldonado Hernández, A.; Palacio Prieto, J.L.; Estrada Castellón, A.E., 2003. Comparación de métodos en la estimación de erosión hídrica. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM Núm. 51, 2003, pág. 23-36.

Paruelo, J.M., Guerschman, J.P., Piñeiro, G., Jobbágy, E.G., Verón, S.R., Balde, G. y Baeza, S., 2006. Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: Marcos Conceptuales para su Análisis. Agrociencia, Vol. X N° 2, pág. 47-61.
http://gea.unsl.edu.ar/pdfs/Paruelo_Agrociencia_2006.pdf

Peña Zubiarte, C.A. y d'Hiriart, A., 1985. Erosión eólica e hídrica en San Luis. Revista IDIA N° 433-436, pág. 40-46.

Peña Zubiarte, C. d'Hiriart, A., Aguirre, R., Demmi, M.A., Elizondo, J.D., García, S.M. y Pascuarelli, A.P., 2000. Carta de Suelos de la República Argentina, Hoja Villa Mercedes, provincia de San Luis, Escala 1: 100.000.

Quiñónez, E. y Dal Pozzo, F., 2005. Influencia del cálculo del factor topográfico en la distribución espacial del riesgo de degradación de los suelos por la erosión hídrica en el Estado de Mérida, Venezuela, GeoFocus (Artículos), N° 5, pág. 204-218, ISSN: 1578-5157.

Rodrigues Torres, J.L.; Fabián, A.J.; da Silva, A.L., Pessoa, E. de J.; da Silva, E.C.; Resende, E. de F., 2008. Diagnostico Ambiental e Análise Morfométrica da Microbacia do Córrego Lanhoso em Uberaba-MG. Caminhos de Geografia, Uberlândia, V.9, N° 25, pág.1-11.

Rose, C.W., Coughland, K.J., Fentie, B., 1998. Griffith University Erosion System Template (GUEST). Modelling Soil Erosion by Water. Edited by John Boardman and David Favis-Mortlock. NATO ASI Series I. Global Environmental Change, Vol. 55.

Sirvent, J.; Gutiérrez, M. y Desir, G. 1996. Erosión e hidrología de áreas acarcavadas. En: Erosión y Recuperación de Tierras en Áreas Marginales; Lasanta T. y García Ruiz, Eds. Instituto de Estudios Riojanos, Sociedad Española de Geomorfología, pág. 109-135.

Springall, Rolando, 1976. Hidrología, Universidad Autónoma de México (UNAM).

Torres-Benites; E.; Mejía-Sáenz, E.; Cortés-Becerra, J.; Palacios-Vélez, E. y Exebio-García, A., 2005. Adaptación de un Modelo de Simulación Hidrológica a la Cuenca del Río Laja, Guanajuato, México. Agrociencia 39, pág. 481-490.

Williams, J. R., 1994. The EPIC model. Grassland, Soil and Water Research Laboratory, USDA-ARS, Temple, USA.

SOBRE EL TRABAJO Y SUS AUTORES

La conservación de los suelos constituye una preocupación creciente en todo el mundo, dado que no sólo es el lugar que habitamos, sino también el sustrato donde debe producirse la mayor cantidad de nuestros alimentos. También resulta de suma importancia el estudio de las inundaciones, puesto que cada vez más frecuentemente la sedimentación y la erosión hídrica vulneran nuestros suelos.

Sin embargo, debemos asumir que los mismos, poco a poco e inexorablemente, se mueven y se moverán, como resultado de la acción del ciclo hidrológico sobre ellos. Lo importante sería lograr que el hombre influyese lo menos posible en este movimiento natural y pudiese predecir en gran medida dicho movimiento, para atenuarlo y protegerse legítimamente del daño que pudiese causar.

En este contexto, la utilización de geotecnologías en el estudio de los escurrimientos hídricos representa un poderoso instrumento.

El presente informe es una demostración de la utilidad de estas herramientas, que deberían ser de uso corriente en la actualidad.

Vaya mi felicitación a los autores del informe así como al Coordinador del Programa en el que se encuentra inserto el Proyecto.

Granada, España, 20 de enero de 2010

Dr. Ing. Leonardo S. Nanía Escobar

Profesor Contratado Doctor,

Departamento de Mecánica de Estructuras

e Ingeniería Hidráulica

Área de Ingeniería Hidráulica

Universidad de Granada



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
Centro Regional La Pampa-San Luis
Estación Experimental Agropecuaria San Luis