



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PATAGONIA SAN JUAN BOSCO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PATAGONIA AUSTRAL**

**Programa de Posgrado Interinstitucional en Ciencias Hídricas
(con mención ambiental)**

**Trabajo final
Especialización en Aguas Superficiales**

ANÁLISIS DE VARIABLES QUE PARTICIPAN EN LA FORMACIÓN Y EVOLUCIÓN DE CÁRCAVAS EN EL EJIDO MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE COMODORO RIVADAVIA Y SECTORES ALEDAÑOS

Daniel Fernando González

Director de tesina: Doctor Gabriel Kaless

Comodoro Rivadavia, Diciembre 2017



ANÁLISIS DE VARIABLES QUE PARTICIPAN EN LA FORMACIÓN Y EVOLUCIÓN DE CÁRCAVAS EN EL EJIDO MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE COMODORO RIVADAVIA Y SECTORES ALEDAÑOS

Daniel Fernando González

Director de Tesina:
Doctor Gabriel Kaless

Línea de investigación:
Erosión Hídrica

Universidad por la que cursa la carrera:
Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco

Unidad Académica por la que cursa la carrera:
Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco

Comodoro Rivadavia, Diciembre 2017



DEDICATORIA

A Melisa, Jazmín y Celina por el apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A mi hermana Alicia por el acompañamiento para lograr un nuevo desafío y a Federico Sánchez por su colaboración y profesionalismo.



RESUMEN

Las cárcavas constituyen elementos erosivos sobresalientes dentro de la morfología de mesetas en el ámbito de la cuenca del Golfo San Jorge, en este trabajo se propuso caracterizar las cárcavas dentro del ejido urbano de Comodoro Rivadavia, determinar su impacto como fuente de sedimentos y degradación, y proponer medidas para su mitigación.

La digitalización codificada de 5155 cárcavas en diferentes sectores del ejido municipal, aportará una importante cantidad de datos para realizar análisis cuantitativos y cualitativos. Los sectores antropizados, principalmente relacionados a la industria petrolera local, son susceptibles a dar origen a carcavamientos en determinadas condiciones.

Una de las limitantes principales en el control de cárcavas son los costos en su control. Cuando la solución se enfoca hacia la ingeniería convencional con estructuras de concreto y el desconocimiento de otras soluciones alternas, más eficientes y de menor costo, como son los tratamientos preventivos y de tipo biológico, utilizando los recursos naturales existentes en el campo, zona urbana o área de influencia.

El desarrollo de este trabajo aportará información de base local para estudios de impacto ambiental, servirá de herramienta predictiva para el análisis de la susceptibilidad de un terreno a ser degradado por carcavamiento y aportará algunas alternativas para evitar este proceso en sectores antropizados.

ABSTRACT

The gully constitute erosive elements out standing inside the plateau morphology in the area of the basin of the San Jorge Gulf , the purpose of this work is to characterize the gully inside the urban common land of Comodoro Rivadavia, determine its impact as a source of sediments and degradation, and propose measurements for its mitigation.

The codified digitalization of 5155 gullies in different sectors of the municipal common land will contribute with an important quantity of information to make quantitative and qualitative analyses. The anthropogenic sectors, mainly related to local oil industry, are plausible to provoke gully erosion in certain conditions.

One of the main problems in the gully control are the costs when the solution focuses towards the conventional engineering with structures of concrete on one hard, and the ignorance of other alternate low cost and more efficient solutions on the other hard. Examples of these are preventive treatments of biological type, using the existing natural resources in the field, urban area or area of influence.



The development of this work will contribute with information of local base for environmental impacts studies, it will serve as predictive tool for the analysis of the susceptibility of an area to be degraded by gully erosion and it will also contribute with some alternatives to avoid this process in anthropogenic sectors.

INTRODUCCIÓN

La presencia de cárcavas en un terreno indica un grado avanzado de degradación, ya que la mayoría de las veces se inician luego de la pérdida superficial del suelo por efecto del impacto de las lluvias, destrucción de los agregados naturales del suelo, la erosión laminar y en surcos.

La cárcava es una zanja producto de la erosión que generalmente sigue la pendiente máxima del terreno y constituye un cauce natural en donde se concentra y corre el agua proveniente de las lluvias. El agua que corre por la cárcava arrastra gran cantidad de partículas del suelo. (Martínez Menes et al., 2009)

Ellison (1947), define la erosión como el proceso de separación, transporte y depósito de los materiales del suelo por los agentes causantes, tales como la lluvia, el viento y el hombre.

Si bien existen cárcavas de origen natural, en general “se forman debido a las actividades antropogénicas y factores físicos como son el uso inapropiado del suelo y de la vegetación, sobrepastoreo, construcción de caminos, senderos creados por animales o vehículos, intensidad y cantidad de lluvia, tamaño y forma de la cuenca, longitud y gradiente de las laderas, y características del suelo, entre otros” (Bocco, 1991; Strunk, 2005).

Schumm (1979; citado por Morgan, 1997) examinó el papel de umbrales intrínsecos relacionados con el proceso interno de la cárcava, a partir de estudios en Colorado, Nuevo México y Arizona. Estableció una función discriminante entre condiciones estables e inestables, desconsiderando el tamaño del área de la cuenca de captación y la pendiente del cauce. Cuando para un área de captación determinada la pendiente del cauce excede un valor crítico, se produce una incisión que origina un cauce caracterizado por uno o más escarpes de cabecera. La abrasión posterior motiva que la cárcava se torne muy activa: el cauce se ensancha y profundiza, y la cabecera avanza.

La erosión en cárcavas ha sido ignorada porque es difícil de investigar y de predecir, también es escasa la información sobre la efectividad de técnicas para su control (Poesen et al., 2003)

Los movimientos masales se han constituido como uno de los fenómenos naturales más destructivos que afectan a los seres humanos en el mundo, causando grandes catástrofes, víctimas humanas y



pérdidas de miles de millones de dólares cada año tanto en zonas urbanas como rurales (Blume, et al, 1998, citado por Suarez 1998).

La ausencia de prácticas preventivas de conservación, o por la construcción de vías sin obras adecuadas para conducción de aguas de escorrentía y/o por descargas de caudales altos de agua sobre taludes inferiores sin disipación de su energía cinética.

Las cárcavas no solo provocan un impacto visual dentro del paisaje, sino que además son indicadores de procesos de erosión hídrica de suelos muy activos, los que se hallan relacionados a sectores “aguas abajo” de acumulación de materiales granulares.

La urbanización de la ciudad se desarrolla principalmente en los sectores más bajos de los valles fluviales, interfiriendo la libre circulación de las aguas de escorrentía, restándole energía cinética y beneficiando la precipitación de los sedimentos en los sistemas pluviales y sectores lindantes.



Imagen 1: Faldeo Norte del Cerro Chenque. Contraste de cárcavas naturales y antrópicas.

Desde los organismos oficiales de medioambiente, tanto municipal como provincial, se conocen los efectos erosivos que producen los carcavamientos, los depósitos aluviales que generan los sedimentos que aportan y las pérdidas económicas intrínsecas tanto “aguas arriba” como “aguas abajo”, pero no se cuenta con algún tipo de herramienta que permita determinar a futuro las consecuencias que, en este aspecto, podría provocar la construcción de un camino, locación o una obra civil.



El desarrollo de este trabajo aportará información de base local para estudios de impacto ambiental, servirá de herramienta predictiva para el análisis de la susceptibilidad de un terreno a ser degradado por cárcavamiento y aportará alguna alternativa para evitar este proceso en sectores antropizados.

Santiago, J.E. (2013) indica que un relevamiento expeditivo en una imagen satelital en el ejido de la ciudad de Comodoro Rivadavia revela que las cabeceras de las cárcavas se encuentran mayormente asociadas a áreas con marcada intervención de la industria hidrocarburífera local. Estos terrenos son sectores de emplazamiento de locaciones y caminos de acceso a las mismas, se suman a estos últimos los vinculados a actividades de tipo rural.

“No se puede abordar el estudio morfológico de un sistema de cárcavas manejando un solo criterio, sino que se hace necesaria la utilización de otros rasgos o elementos para que el análisis sea más completo y preciso. No se puede describir un sistema de barrancos utilizando solo el tamaño en profundidad sin considerar la geometría en planta y transversal, porque con una información incompleta se corre el riesgo de tomar decisiones erróneas destinadas al fracaso”.

En virtud de todo lo anterior debemos destacar que las variables que se deben analizar son las siguientes:

- El sector de emplazamiento de la cabecera u Origen, ya que podrían originarse naturalmente, en locaciones o terraplenes o bien en caminos.
- El material en que se desarrolla la cárcava (formación litológica o material proveniente de esta).
- El ancho de la cárcava como indicador geométrico del desarrollo de la misma.
- La longitud de la cárcava como indicador geométrico del desarrollo de la misma.
- La pendiente de la cárcava como parámetro indicador de umbrales de desarrollo.
- La orientación como parámetro indicador de posibles direcciones preponderantes.

La metodología propuesta consiste en la revisión de bibliografía específica, salida expeditiva al campo, digitalización y codificación de cárcavas en imagen satelital, procesamiento de datos obtenidos, estadística de variables, análisis y discusión de información y recomendaciones pertinentes.

UBICACIÓN DEL SECTOR DE ESTUDIO

El sector de estudio comprende todo el ejido urbano de la ciudad de Comodoro Rivadavia, el cual tiene una forma irregular cuyos límites latitudinales van desde los 45°43'26,89"S a los 46°00'00"S, y desde su límite longitudinal más occidental en los 67°46'37,90" W hasta la costa del Océano Atlántico, la superficie del mismo es de 425,90 km². El mismo rodea a la Villa Balnearia Rada Tilly.

El rango de altitudes en el sector occidental varía entre los 635 m.s.n.m. y los 181 m.s.n.m., presentando un mínimo en el límite oriental de 0 m.s.n.m. sobre la costa patagónica.

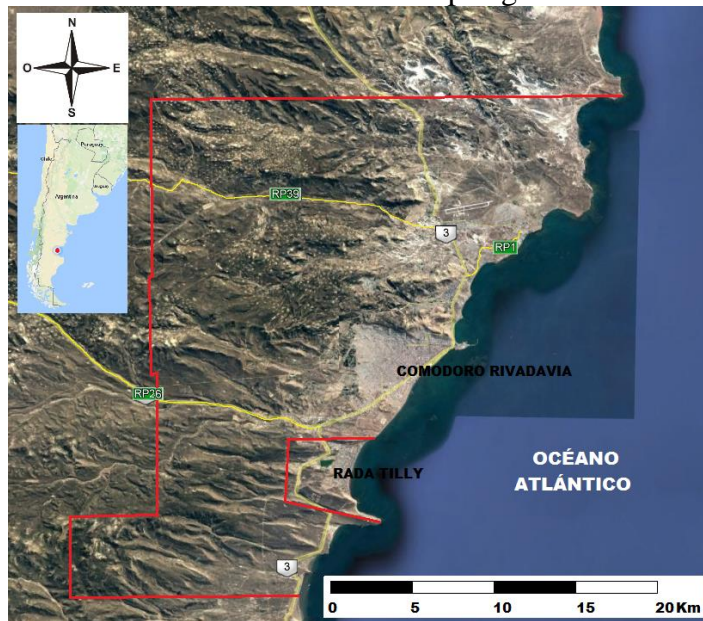
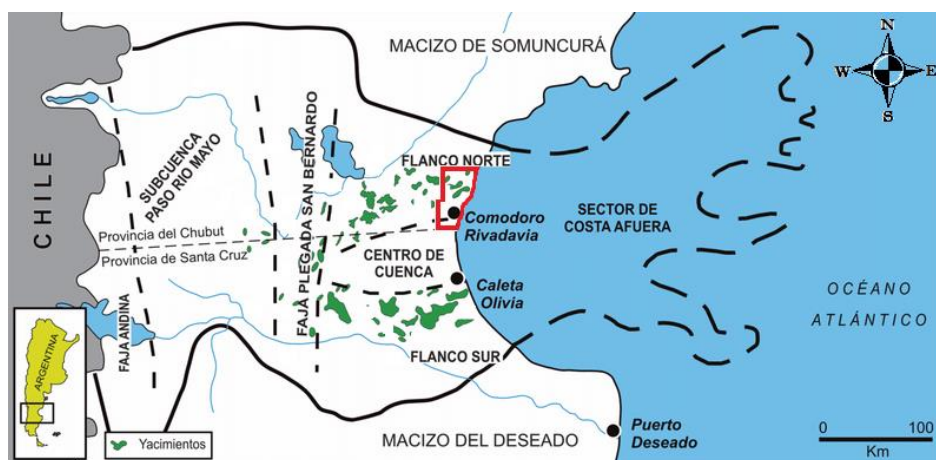


Imagen 2: Imagen Satelital del Ejido Urbano de Comodoro Rivadavia.

GEOLOGÍA

La ciudad de Comodoro Rivadavia se sitúa geológicamente en el Flanco Norte de la Cuenca del Golfo San Jorge (C.G.S.J.). Los afloramientos geológicos en el ejido urbano corresponden a sedimentitas cenozoicas de ambiente marino y continental. (Ver Tabla 1)



Mapa 1: Ubicación del ejido de Comodoro Rivadavia en la C.G.S.J.



Las unidades rocosas más antiguas se encuentran en el subsuelo investigadas a partir de estudios geofísicos y perforaciones petroleras, donde muestran importantes fallas de rumbo general E-W, subparalelas, normales y de alto ángulo que afectan, tanto a la columna sedimentaria como al basamento.

Edad		Estratigrafía		Litología
Cenozoico	Cuaternario	Depósitos aluviales y coluviales indiferenciados	Playa de gravas	Gravas de vulcanitas redondeadas sin o escasas matriz arenosa
				Proporciones variables de arenas finas a gruesas, limos y arcillas, con rodados dispersos
		Cordones Litorales	Terrazas Fluviales del Río Chico	Gravas de vulcanitas redondeadas con matriz arenosa, localmente limo arcillosa
				Gravas finas y medianas de vulcanitas redondeadas con matriz arenosa
	Redepósitos sobre Pedimentos		Gravas medianas de vulcanitas redondeadas con matriz arenosa	
	Rodados Patagónicos		Gravas medianas de vulcanitas redondeadas con matriz arenosa	
	Terciario	Formación Santa Cruz		Intercalaciones de areniscas entrecruzada, conglomerados, fangolitas tobáceas, tobas arenosas y paleosuelos.
		Formación Chenque o Patagonia		Areniscas arcillitas tobáceas, tobas arcillosas, coquinas y escasos conglomerados. Fosilífera
		Formación o grupo Sarmiento		Tobas y chonitas primarias y retransportadas, conglomerados intraformacionales y paleosuelos
		Formación Río Chico		Intercal de areniscas, arcillitas varicolores, piroclastitas y escasos conglomerados
Formación Salamanca		Alternancia de areniscas entrecruzadas, arcillitas, escasos conglomerados y localmente carbonáticas. Fosilífera		
Mesozoico	Jurásico	Complejo Marifil	Vulcanitas ácidas, tobas, flujos ignimbriticos y conglomerados volcanicos.	

■ Unidades Aflorantes en el sector de interés.

Tabla 1: Cuadro Estratigráfico modificado de la Hoja Geológica 456-6 III Comodoro Rivadavia

GEOMORFOLOGÍA

Desde el punto de vista geomorfológico, el paisaje que compone el área está constituido por diferentes geoformas. Entre los procesos que modelaron el paisaje de la Patagonia Extra andina cabe destacar con mayor o menor representatividad la acción fluvio-glaciar, fluvial, hidro-eólica y eólica. Asimismo también deben mencionarse las de índoles tectónicas. En muchos de los casos las geoformas resultantes se deben a la acción de más de un proceso actuante (procesos poli genéticos).

La geomorfología general consiste en primer lugar de un extenso Nivel Terrazado o Planicie Estructural ubicada en el sector Oeste, constituido por numerosos resaltos denominados Pampa del Castillo, que se encuentran cubiertos por acumulaciones glacio-fluviales (Rodados Patagónicos), las cuales sirvieron de protección, a través del tiempo, de la rápida degradación de la friable secuencia terciaria subyacente.

Como producto de la denudación de las sedimentitas mesozoicas de ambas laderas de la Pampa del Castillo, Este y Oeste, se produjo un relieve disectado, compuesto por geoformas tales como pedimentos, badlands, terrazas estructurales, taludes y cañadones entre otras.

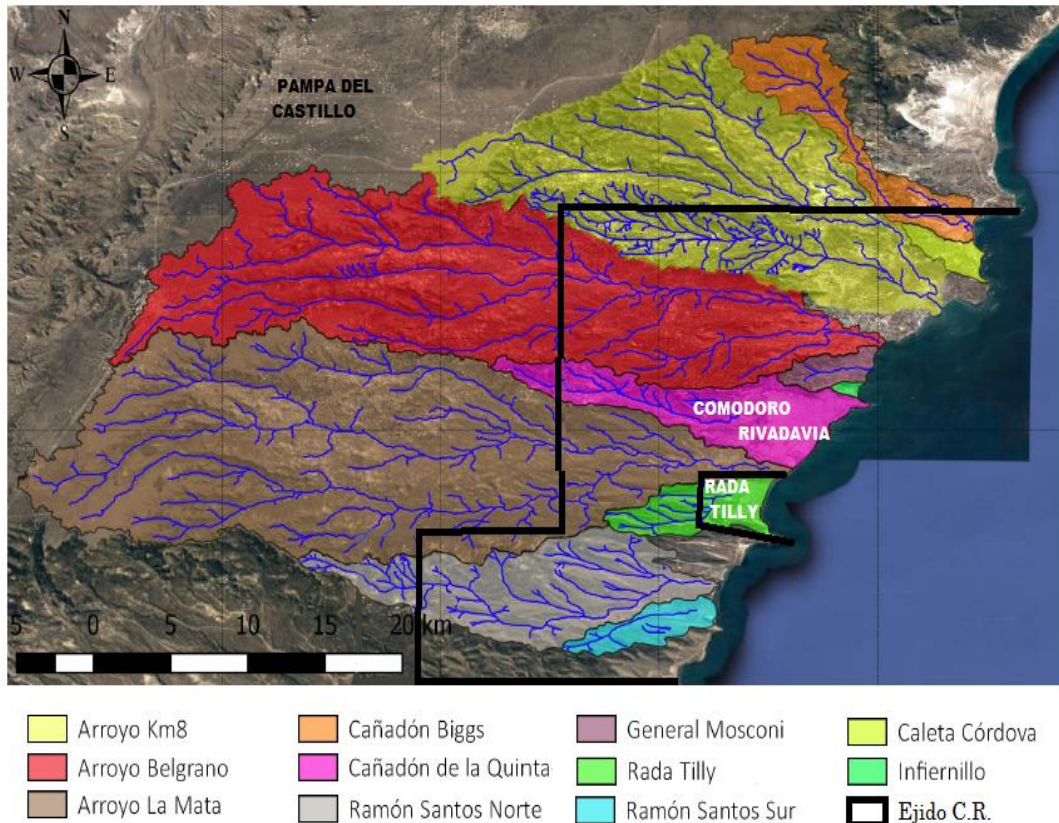


Imagen 3: Cuencas Hidrográficas y el Ejido Urbano de Comodoro Rivadavia

La característica distintiva de la región oriental es la presencia de valles dispuestos en forma aproximadamente perpendicular a la línea de costa, conformando las cuencas hidrográficas subparalelas que se observan en la imagen superior.

El desarrollo de estas pendientes es a expensas de un sustrato horizontal, con leve pendiente al Este de características geológicas cuasi constantes, afectando localmente a la formación Patagonia, y conformando un dominio de erosión sub-aérea con *predominio de erosión pluvial* y en forma subordinada eólica.

En un contexto general, el ambiente se encuentra vinculado a la zona de recarga de un acuífero Multiunitario de características regionales, con recarga en Pampa del Castillo y sentido de escurrimiento desde el oeste hacia el este-sureste, en dirección a la costa (Castillo E, 1984).



METODOLOGÍA

Como primer paso, se ejecutó una revisión bibliográfica y recopilación de información específica del tema cárcavas.

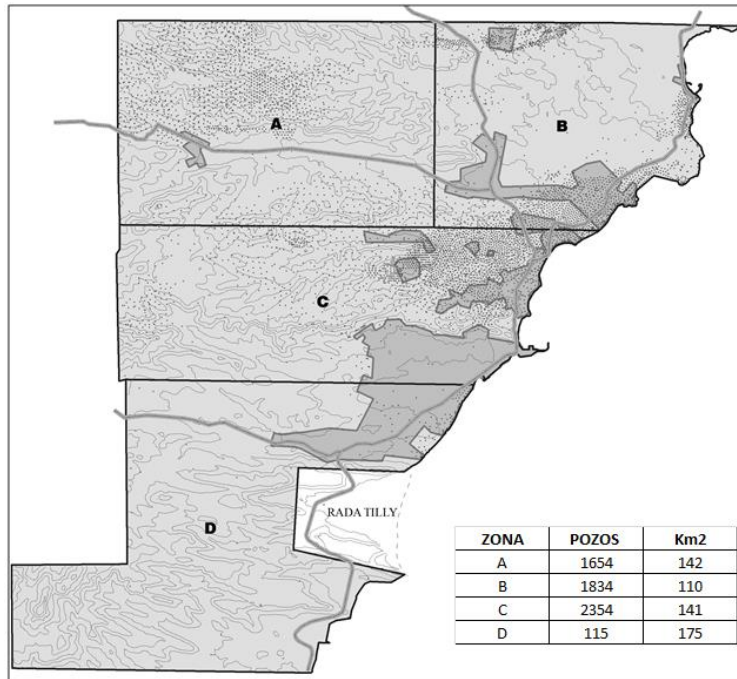
A continuación se realizaron varias visitas expeditivas en el área de trabajo en diferentes momentos, con el objeto de observar los distintos ejemplos en el ejido, a fin de adoptar un criterio para codificarlas en el proceso de digitalización.

Se utilizó de base las imágenes satelitales de Google Earth, programa informático que permite visualizar un globo virtual con múltiple cartografía y posee diferentes herramienta posibilitando digitalizar puntos, líneas y polígonos y guardarlos como archivos vectoriales.

Con dichas imágenes, el ejido se subdividió en cuatro sectores o zonas (A-B-C-D) acorde a diferentes características; a fin de poder trabajar en diferentes sectores: naturales, naturales antropizado y urbanizados, y cuyos resultados puedan compararse cuali y cuantitativamente.

ZONAS	Geología de superficie	Densidad de locaciones petroleras y caminos	Densidad de zonas urbanizadas
A	Fm. Chenque	Alta cuasi uniforme	Baja
B	Fm. Sarmiento	Media cuasi uniforme	Mediana a Baja
C	Fm. Chenque	Alta	Mediana a Alta
D	Fm. Chenque	Baja	Baja, pero Alta en un sector

Tabla 2: Zonas del ejido de Comodoro Rivadavia.



Mapa 2: Ejido Urbano: Zonas de trabajo, sectores urbanizados y pozos petroleros.

Cabe aclarar que si bien se considera la formación geológica en que se hallan ubicadas las cárcavas es una cuestión meramente espacial, ya que por ejemplo, las cárcavas que inician en locaciones de pozos petroleros lo hacen, en general, en el talud de compensación (Ver Gráfico 1 e Imagen 4). Éste solo se compacta superficialmente, quedando el material de aporte subyacente parcialmente esponjado.

En el caso de caminos las cárcavas pueden originarse en material coluvial o bien material de formación.

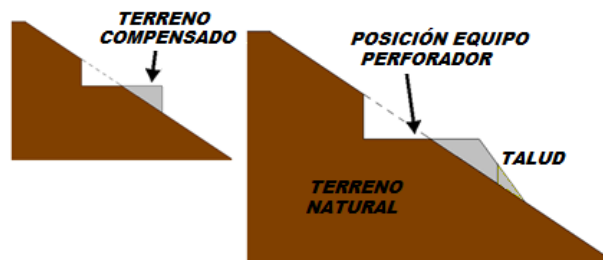


Gráfico 1: Corte de locación petrolera- Sistema de construcción.



Imagen 4: Ejemplo típico de locación petrolera sobre un faldeo y acceso a la misma.

A continuación se adoptó como criterio digitalizar la cárcava desde aguas arriba hacia aguas abajo, siempre a la misma altura sobre el nivel del terreno (200 metros), como punto de observación, a fin de minimizar errores por proximidad o pixelamiento, o bien no visualizar cárcavas por excesivo distanciamiento.

A cada cárcava digitalizada se le asignó una codificación a fin de poder procesar los datos estadísticamente. La codificación alfanumérica incluye:

- Zona (A-B-C-D)
- Número de la cárcava (de 1 a 5155)
- Origen (locación-camino-natural)
- Ancho (menor a 1m, mayor a 1m y menor a 3,5m y mayor a 3,5m), este criterio es arbitrario ya que los factores que participan en la geometría de una cárcava son diversos.

El trabajo de digitalización demandó más de 100 horas y el mismo arrojó un resultado de 5155 cárcavas codificadas.

Del archivo vectorial generado por digitalización, se obtuvieron los siguientes parámetros:

- Longitud
- Pendiente promedio en grados sexagesimales
- Pendiente promedio en porcentual
- Orientación.

Utilizando un D.E.M. (Digital Elevation Model) de alta resolución se confeccionó un mapa de pendientes a fin de determinar si habría relación entre éstas y el número de cárcavas por sector.



También se realizó gráficos de orientación de pendientes de cárcavas a fin de observar patrones.

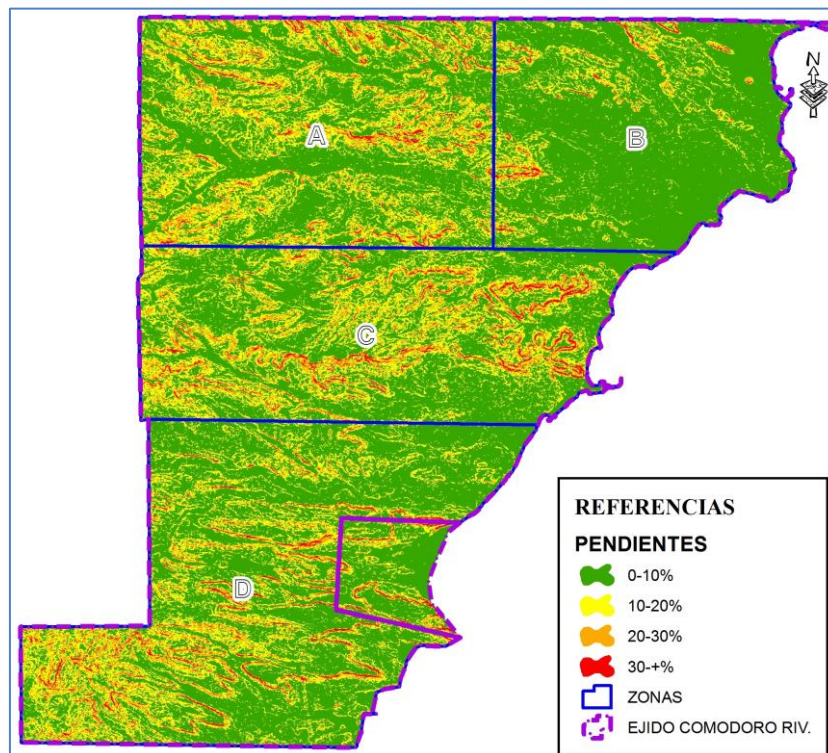
Finalmente, se llevó a cabo el procesamiento de los datos y su análisis por sector u área. Por último se incluyó un análisis de la varianza multivariado a “todos los datos juntos” (Ver Anexos).

RESULTADOS OBTENIDOS

Pendientes

Dentro del ejido urbano con un Modelo de Elevación Digital (DEM) de alta resolución se realizó un mapa de pendientes con ArcGIS considerando pendientes <10% - >10% y <20% - >20% y < 30% - >30%.

En los cuatro sectores de trabajo (A-B-C-D) se cuantificó la superficie ocupada por cada uno de estos cuatro rangos mediante una consulta espacial y se calculó su superficie porcentual por sector.



Mapa 3: Mapa de Pendientes en el Ejido Urbano.



ZONA A	m²	km²	%
<10	80529136,15	80,53	56,7
10<>20	43315140,56	43,32	30,5
20<>30	13976675,84	13,98	9,8
30<	4197626,844	4,20	3,0
Superficie Total =		142,02	100
ZONA B	m²	km²	%
<10	92433035,04	92,43	84,2
10<>20	13205021,9	13,21	12,0
20<>30	3005579,01	3,01	2,7
30<	1107372,065	1,11	1,0
Superficie Total =		109,75	100
ZONA C	m²	km²	%
<10	82046057,76	82,05	58,2
10<>20	39866623,77	39,87	28,3
20<>30	14093544,56	14,09	10,0
30<	5071115,484	5,07	3,6
Superficie Total =		141,08	100
ZONA D	m²	km²	%
<10	110377180,4	110,38	63,0
10<>20	44130400,98	44,13	25,2
20<>30	14975377,32	14,98	8,6
30<	5592348,332	5,59	3,2
Superficie Total =		175,08	100

Tabla 3: Detalle de superficies vs. pendientes para cada zona de trabajo.

	% A	% B	% C	% D
<10	56,7	84,20	58,20	63,00
10<>20	30,5	12,00	28,30	25,20
20<>30	9,8	2,70	10,00	8,60
30<	3	1,00	3,60	3,20

Tabla 4: Porcentaje de superficies para cada zona de trabajo vs pendientes.

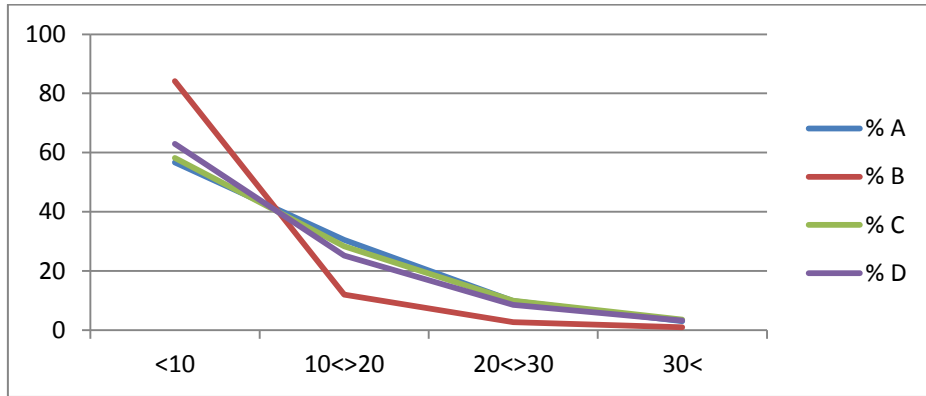


Gráfico 2: Porcentaje de superficies para cada zona de trabajo vs pendientes.

En este gráfico se observa la preponderancia (84,2 %) de sectores con pendientes menores a 10% en la zona B, a diferencia de las otras tres zonas las que son muy similares en los cuatro rangos. Esta distinción obedece enteramente a diferencias litológicas de las dos formaciones principales.

Orientación

La dirección general de las mesetas en el ejido urbano es de Oeste a Este, naciendo en la Pampa del Castillo y orientándose hacia el mar. Esta disposición geomorfológica se debe a un marcado control estructural, generado por las fallas profundas subparalelas en el Flanco Norte de la Cuenca del Golfo San Jorge. Como en líneas generales las cárcavas se ubican en los faldeos Norte y Sur de estas mesetas, la forma de las rosetas de orientación de la dirección de las cárcavas es muy polarizada.



Gráfico 3: Rosetas de orientación de cárcavas según sectores de trabajo.



Análisis de Datos

La Tabla 5 y el Gráfico 3 muestran la cantidad de cárcavas, de acuerdo a la zona en que se encuentran ubicadas, la superficie de la zona, el número de pozos (locaciones) por zona, la relación cárcavas/Km2 y la relación pozos/Km2.

ZONA	CANTIDAD	Superficie	Pozos	cárcavas/Km2	pozos/Km2
A	1413	142	1654	9,95	11,6
B	2107	110	1834	19,15	16,7
C	1526	141	2354	10,82	16,7
D	109	175	115	0,62	0,7
	5155				

Tabla N° 5

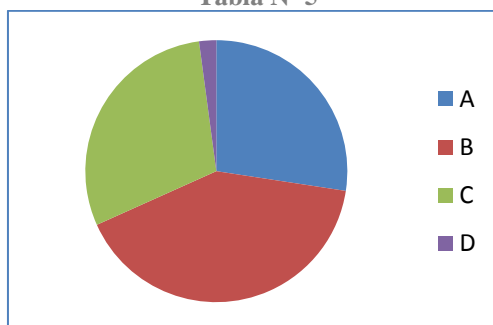


Gráfico 4: Número de cárcavas por zona de trabajo

La Tabla 6 y el Gráfico 4 relacionan el número de cárcavas según su origen (locación- camino-natural) por zona de trabajo.

	A	B	C	D	TOTALES POR ORIGEN
1 (LOCACIÓN)	837	128	700	16	1681
2 (CAMINO)	217	36	481	11	745
3 (NATURAL)	359	1943	345	82	2729
	1413	2107	1526	109	

Tabla N° 6

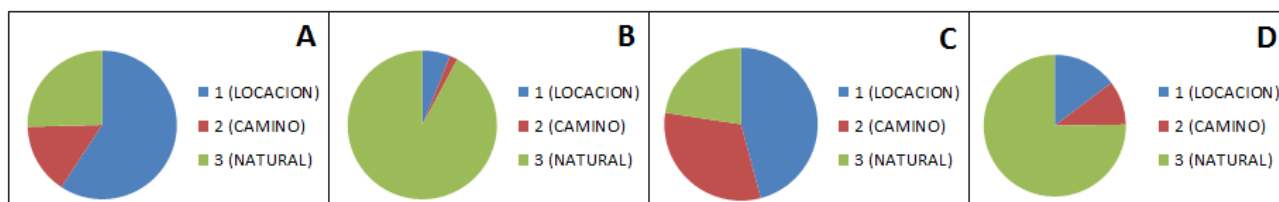


Gráfico 5: Número de cárcavas por origen por zona de trabajo

La Tabla 7 relaciona el número de cárcavas según su ancho (<1m-1m<>3,5m->3,5m) con la zona de trabajo.

	A	B	C	D	TOTALES POR ANCHO
1 (angosta)	1041	1963	887	78	3969
2 (mediana)	323	138	572	27	1060
3 (ancha)	49	6	67	4	126
	1413	2107	1526	109	5155

Tabla N° 7

La Tabla 8 relaciona la longitud promedio de cárcavas (m) con la zona de trabajo e indica la longitud total (Km) de cárcavas en las mismas zonas.

	A	B	C	D
LONG PROMEDIO (m)	90,7	42,4	107,6	255,3
LONG TOTAL (km)	128,2	89,4	164,2	27,8

Tabla N° 8

La Tabla 9 relaciona las pendientes porcentual promedio, por origen y por zona de trabajo.

	A	B	C	D
LOCACIÓN	18,96	14,27	25	27,5
CAMINO	17,97	17,5	31,21	17,29
NATURAL	18,97	22,09	38,41	25,31

Tabla N° 9

En la Tabla 5 para el sector B se observa el mayor número de cárcavas (2107) y mayor número de cárcavas por Km² (19,15), en la Tabla 6 se identifica que 1943 cárcavas son de origen natural (92,2%) y en la Tabla 7 se ve que 1963 cárcavas tienen un ancho menor a 1 m. (93,1%). La longitud promedio es baja respecto a las otras zonas 42,45 m (Tabla 8). Las pendientes de las cárcavas que



inician en locaciones son muy bajas y las naturales son intermedias. Esto se debe a que en el sector aflora la Fm Sarmiento, que por su litología tobácea genera un paisaje tipo bad-land totalmente distinto al resto de los otros sectores (A-C-D). Las bad-lands o tierras baldías, son un tipo de paisaje de características áridas y de litología rica en lutitas, extensamente erosionado por el agua y el viento, debido a la falta de vegetación.

El sector D tiene el 30,8% del total de la superficie del ejido. En la Tabla 5 se observa el menor número de cárcavas (109) y menor número de cárcavas por Km² (0,62), en la Tabla 6 se identifica que 82 cárcavas son de origen natural (75,2%) y en la Tabla 7 ve que 78 cárcavas tienen un ancho menor a 1 m. (71,5%), 27 son medianas (24,7%) y solo 4 son anchas (3,6 %). Esto se debe a que en el sector está muy poco antropizado (0,7 pozos/Km²) respecto a los tres sectores (>11,6 pozos/Km²). La longitud promedio es alta respecto a las otras zonas 255,3 m (Tabla 8).

En la Tabla 5 para el sector A han digitalizado 1413 cárcavas y con un promedio de 10,82 cárcavas por Km², en la Tabla 6 se identifica que 837 cárcavas se originan en locaciones y 217 originadas en caminos, entre ambas dan un 74,6% de origen antrópico versus un 25,4% de origen natural y en la Tabla 7 ve que 73,3% de cárcavas tienen un ancho menor a 1 m. La longitud promedio es mediana (90,7 m) (Tabla 8). Las pendientes de las cárcavas independientemente del origen son muy similares en el rango de 17,9 a 18,7. Esta zona de trabajo tiene una importante cobertura vegetal y bordes de meseta más suaves.

En la Tabla 5 para el sector C han digitalizado 1526 cárcavas y con un promedio de 9,95 cárcavas por Km², en la Tabla 6 se identifica que 700 cárcavas se originan en locaciones y 481 originadas en caminos, entre ambas dan un 77,4% de origen antrópico versus un 22,6% de origen natural, y en la Tabla 7 ve que 58,1% de cárcavas tienen un ancho menor a 1 m, pero 67 cárcavas (4,3%) son mayores a 3,5 m siendo el mayor porcentaje de todas las zonas. La longitud promedio es la más alta (107,6 m) y también la longitud total por área (Tabla 8). Las pendientes de las cárcavas son muy altas con un promedio máximo en las naturales 38,41%, en segundo lugar las que originan en caminos 31,21% y 25% para las que originan en locaciones. En esta zona de trabajo tiene una baja cobertura vegetal en el sector oriental y bordes de meseta más marcados.

En resumen , en los sectores B y D predominan las cárcavas de origen natural, en el primero el control está dado por la litología, ya que la misma genera un paisaje tipo bad-land con alta densidad de cárcavas, mayormente anchos menores a 1 metro, menores longitudes promedio y pendientes medianas a bajas. En el segundo el bajo número de cárcavas por Km² indica baja actividad humana con predominio de cárcavas de origen natural, en general angostas a medianas, muy desarrolladas con longitudes promedio.

En los sectores A y C predominan las cárcavas de origen antrópico, en ambas zonas sobre un total de 2939 cárcavas entre el 74,6% y el 77,4 % se originan en locaciones y caminos.



Es importante considerar que en el sector A el 59,2 % de cárcavas y en el sector C el 45,9% de cárcavas se originan en locaciones. Esta superioridad porcentual en ambas áreas de trabajo podría deberse, a que según lo observado en la tarea de digitalización, la mayor parte de locaciones con cárcavas se encuentran emplazada a mitad de faldeo de las mesetas, por lo que en momentos de precipitación no solo reciben el agua caída sobre sí misma, sino que también, el agua de escorrentía del faldeo aguas arriba de la misma, sumándose a veces el aporte de la parte alta de mesetas (Cuenca Superior).

Las cárcavas anchas (< 3,5m) emplazadas en Fm Chenque (zonas A-C-D) están en el orden de 3,4% a 4,4%, en cambio las emplazadas en Fm Sarmiento (zona B) están en el orden de 0,28%. Ésta marcada diferencia podría deberse a la mayor competencia debido a mayor consolidación y menor permeabilidad de sedimentos de la Fm Sarmiento.

Análisis de la varianza multivariado

El análisis estadístico se enfocó en determinar la variación de la longitud y pendiente de todas las cárcavas respecto de:

- El sector de estudio (A-B-C-D)
- Su origen (Locación-Camino-Natural)
- Formación (Santa Cruz- Patagonia o Chenque-Sarmiento)
- Configuración (Ancho)

Del mismo se han obtenido los siguientes resultados:

- La longitud promedio en el sector “D” posee diferencias significativas respecto a las otras tres zonas.
- La pendiente en el sector “C” posee diferencias significativas respecto a las otras tres zonas.
- La longitud promedio difiere significativamente dependiendo del origen, destacándose las que se originan en caminos (2)
- La pendiente promedio difiere significativamente dependiendo del origen, destacándose las que se originan en caminos (2)
- La formación Chenque (3) difiere significativamente en longitud, respecto de las formaciones Sarmiento (2) y Río Chico (4).
- Existen diferencias significativas ($p < 0,05$) en pendiente % para la formación Santa Cruz (4) respecto de las formaciones Chenque y Sarmiento.



- Las cárcavas menores a un metro de ancho se destacan por tener longitudes cortas y altas pendientes.



ANÁLISIS DE INFORMACIÓN Y CONCLUSIONES

Existe una marcada diferencia entre las cárcavas de la zona B y las otras zonas del ejido municipal, esto se debe principalmente a la diferencia de litologías, relieve, longitudes y pendientes. En las que predomina un paisaje tipo bad-land.

En las zonas B y D predominan las cárcavas naturales en la primera por las razones explicadas en el párrafo anterior, y en la segunda por baja actividad antrópica.

En el sector D se destacan cárcavas con un desarrollo longitudinal muy importante.

La zona C y, el sector centro-occidental de la zona A son muy similares con sectores densamente poblados de locaciones, muchas de ellas con taludes construidos por compensación, ubicadas en faldeos de mesetas, en general las cárcavas se inician en éstas y en los caminos de acceso.

El sector oriental de la zona C se destaca porque el aglomeramiento urbano rodea en forma adyacente el macizo terrazado (o meseta) comprendido por los cerros Arenales, Chenque, Viteau y Hermitte, cuyos faldeos poseen menor cobertura vegetal que otras más occidentales, aquí se destacan las mayores pendientes en cárcavas.

Las cárcavas que se inician en caminos poseen un mayor desarrollo longitudinal y mayores pendientes, posiblemente asociadas a la colección de aguas de las cuencas superiores a los mismos y por ubicarse en faldeos de cerros.

Las cárcavas menores a un metro de ancho se destacan por tener longitudes cortas y altas pendientes.

Las orientaciones preferenciales de las cárcavas están vinculadas a un control estructural de este sector del Flanco Norte de la Cuenca del Golfo San Jorge.

RECOMENDACIONES

Para este punto se debe partir de esta premisa que es básica en esta problemática “El desarrollo para la producción: como surcados, terrazas, bordes de captación de escurrimientos con estructuras vertedoras, canales de desviación, caminos mal trazados o sin mantenimiento preventivo provocan la formación y crecimiento de cárcavas cuando los escurrimientos se concentran en zonas de rotura”. (Martínez Menes et al., 2009)



En las zonas B y D la supremacía de cárcavas de origen natural (92,2% y 75,2%) indican la preponderancia de los procesos naturales sobre los antrópicos. De todas maneras no sería en vano considerar las mismas recomendaciones aportadas para las otras áreas de trabajo que se detallan a continuación.

En las zonas A y C el predominio de cárcavas en sectores antropizados (locaciones y caminos) indica que se deberían realizar acciones a nivel de las cabeceras de la misma, para detener la constante pérdida de suelo por erosión. Esto implicaría el desvío de la escorrentía superficial de la cabecera de cárcava y borde del talud de locación.

Por otra parte se debería rediseñar las pendientes en las futuras locaciones que se construyan, sobre todo aquellas que se ubican a mitad de faldeo, redireccionando el agua de escorrentía fuera de los terrenos de compensación generándole una leve pendiente hacia el sector de corte o bien utilizando drenes interceptores, y construyendo vasos o piletones (Ver Gráfico 6) que contengan el volumen de agua precipitada en la locación y en la cuenca superior (Ver Imagen 4) cuya finalidad es amortiguar la venida del agua.

Todo lo anterior coincide con el siguiente concepto “La desviación del escurrimiento de la cabecera de la cárcava, es fundamental para el control de su crecimiento; la forma más común para controlar el agua de escorrentía ha sido mediante la construcción de estructuras de captación llamadas zanjas, canalículos o acequias, que cortan el recorrido del flujo de agua sobre el terreno, disponiéndolo más rápidamente y en forma adecuada, a un canal natural u otra estructura receptora sin que se produzca erosión”. (Peláez, J.D.L., 2015)

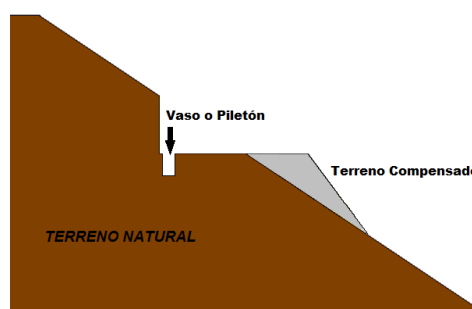


Gráfico 6: Ubicación piletón en locación petrolera.

En dichos vasos se podría construir un sistema de sifonaje que lo drene automáticamente cuando el nivel de agua ascienda hasta una altura determinada (Ver Gráfico 7), el fluido se vertería sobre sectores no antropizados del terreno adyacente (campo virgen) siguiendo una curva de nivel por debajo de la base del piletón, evitando flujos que generen erosiones mediante ductos o mangueras perforadas y/o ranuradas que laminan el efluente.



Gráfico 7: Vista en corte del piletón en locación petrolera con sistema de sifonaje.

El cálculo del volumen del piletón está directamente relacionado con el área de la cuenca de drenaje superior que aporte a la locación, la superficie de esta última y los milímetros de precipitación considerados para un correcto funcionamiento.

Se deberá prever que cuando el caudal que ingrese en el piletón sea superior al que se drene por el ducto de sifonaje, y que por ende se colmate el mismo, se deberá construir un vertedero de material cementicio que evacue el agua hacia sectores no antropizados del terreno adyacente.

Otra alternativa es que el agua de escorrentía se contenga en los piletones, y podría utilizarse para riego en un proyecto de reforestación de taludes con especies autóctonas colonizadoras con buen desarrollo radicular. En este caso solo se debería considerar el vertedero, no así el ducto de sifonaje.

Se debería considerar forestar los taludes con especies autóctonas colonizadoras con buen desarrollo radicular siguiendo el concepto: Las especies debían ser rústicas, adecuadas al medio y adaptadas a las limitaciones físico-químicas existentes, “Todas estas características las encontramos en las especies nativas, específicamente en *Grindeliachiloensis* (botón de oro) y *Seneciofilaginoides* (charcao), por ser especies colonizadoras y con alta tasa de crecimiento” (Lic. Adriana Beider-INTA).

Las raíces de las plantas aumentan la resistencia de ruptura del suelo, en forma directa por reforzamiento mecánico e indirectamente por la extracción del agua del suelo por transpiración (Waldron, 1977) haciendo que este permanezca en condiciones de campo, es decir con un contenido de humedad que permita el desarrollo normal de las plantas.

Los vasos o piletones podrían construirse en una etapa posterior a la puesta en marcha de los aparatos individuales de bombeo (A.I.B.) a fin de optimizar el área ya afectada a la construcción de la locación. Se deberá tener en cuenta que “Estas obras deben inspeccionarse con regularidad, particularmente después de lluvias torrenciales, para determinar si están funcionando bien o son necesarias reparaciones” (SCS, 1973).



De manera similar se deben analizar la ubicación y pendientes de los caminos de acceso a locaciones, como así también su mantenimiento. En ellos se debe considerar la traza de los mismos que interfieran drenajes naturales de áreas supra-yacentes, colectando aguas superficiales, concentrándolas y canalizándolas hacia sectores susceptibles a erosionarse y consecuentemente generando cárcavas. Los ductos que se colocan a modo de alcantarillas concentran las aguas de la cuenca superior, si no se construye algún tipo de dissipador de energía en su salida son propensos a generar cárcavamientos.

Finalmente consideramos que “El adecuado diseño y puesta en funcionamiento de programas de seguimiento y evaluación de las obras que se implementen para los efectos planteados, permitirá contar en lo futuro con paquetes tecnológicos de remediación – programas de control – compuestos por obras y medidas refinadas , producto de la incorporación de ajustes, que con el paso del tiempo, vayan haciéndose”. (SCS, 1973)



BIBLIOGRAFÍA

- Beider, A. 2013. Con especies nativas: Recuperar zonas erosionadas, es posible- INTA
 - Bocco, G. 1991. Gully erosion: processes and models. *Progress in Physical Geography* 15: 392-406
 - Martínez Menes, M.; Rubio Granados, E.; Oropeza Mota, J.; Palacios Espinoza, C. 2009 Control de Cárcavas. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
 - MORGAN, R. P. C., 1997. Erosión del suelo y conservación. Mundi-Prensa, Madrid.
 - Peláez, J.D.L. 2015. Estrategias para el control y manejo de la erosión en cárcavas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín, A.A. 1779.
 - Poesen, J.J.; Nachtergaele, G.; Verstraeten, and C. Valentin. 2003. Gully erosion and environmental change: Importance and research needs. *Catena* 50: 91-133
 - Santiago, J.E. 2013. Hacia un sistema de clasificación de cárcavas. Escuela de Ciencias de la Tierra, Universidad de Oriente. Venezuela.
- Leer más: <http://www.monografias.com/trabajos96/sistema-clasificacion-carcavas/sistema-clasificacion-carcavas.shtml#ixzz4zo8UgiSl>
- Servicio de Conservación de Suelos (SCS). Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. 1973. Manual de Conservación de Suelos. México: Limusa- Wiley.
 - Strunk, II. 2005. Soil degradation and overland flow as causes of gully erosion on mountain pastures in forests. *Catena* 50:185-198
 - Suárez, D.J. 1998. Deslizamientos y estabilización de laderas en zonas tropicales. Corporación para la defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB). Bucaramanga. 548p.
 - Waldron, L.J. 1977. The shear resistance of root-permeated homogeneous and stratified soil. *Soil Science Society of American Journal*. 4: 843-849.

ANEXO FOTOGRÁFICO

	<p>Cárcavas del faldeo Norte del Cerro Hermitte.</p>
	<p>Cárcavas del faldeo Norte del Cerro Hermitte.</p>
	<p>Cárcava en locación de pozo petrolero en el Yacimiento Bella Vista Oeste en el sector occidental del ejido urbano.</p>



Cárcava con deslizamiento del borde de talud occidental en locación de pozo petrolero cercano a la rotonda del camino Roque González. (Vista al Sur) en el cerro Arenales.



Cárcava con deslizamiento del borde de talud occidental en locación de pozo petrolero cercano a la rotonda del camino Roque González. (Vista al Norte) en el cerro Arenales.



Cárcavas del faldeo Este del Cerro Chenque.



Cárcavas del faldeo Sureste del Cerro Vitteau.



Cárcava en el faldeo Sur del cerro Chenque en las calles Patagonia esquina Formosa en el barrio Pietrobelli.



Cárcava en el faldeo Oeste del cerro del Mirador en Rada Tilly.



Cárcava sobre camino que circunvala en el sector Oeste la Ciudad próximo a la Fracción 14.



Comparación de las imágenes tomadas el día 18/01/17 y el 20/04/2017. Se observa el cambio en cuanto al número de cárcavas y sus dimensiones debido a la tormenta marzo-abril acaecida en la ciudad.



ANEXO ESTADISTICO

Anova multivariado

Análisis de la varianza multivariado

Cuadro de Análisis de la Varianza (Wilks)

F.V.	Estadístico	F	gl (num)	gl (den)	p	
zona	0,78		231,61	6	10300	<0,0001

Ho: la longitud promedio no difiere para las cuatros zonas y la pendiente% promedio no difiere para las cuatro zonas.

Hi: la longitud promedio difiere para al menos una de las cuatros zonas y la pendiente% promedio difiere para al menos una de las cuatro zonas.

Según la prueba de Wilks rechazo la Ho y me quedo con la Hi.

La prueba de Wilks indico que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) en la longitud promedio y en la pendiente% para al menos uno de las cuatro zonas.

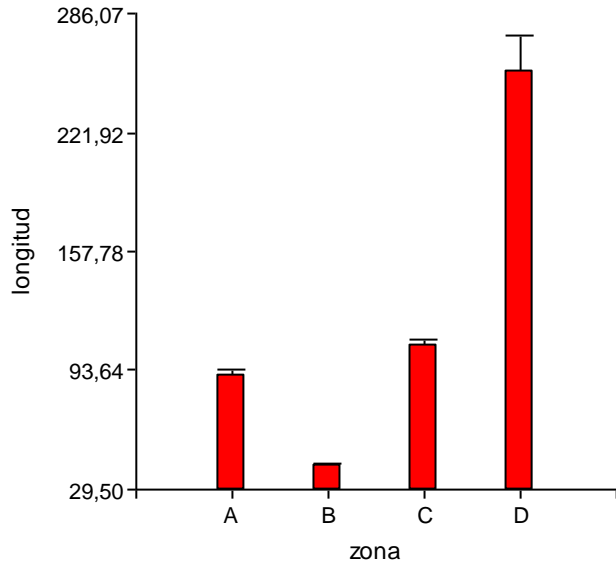
Prueba Hotelling Alfa=0,05

Error: Matriz de covarianzas común gl: 5151

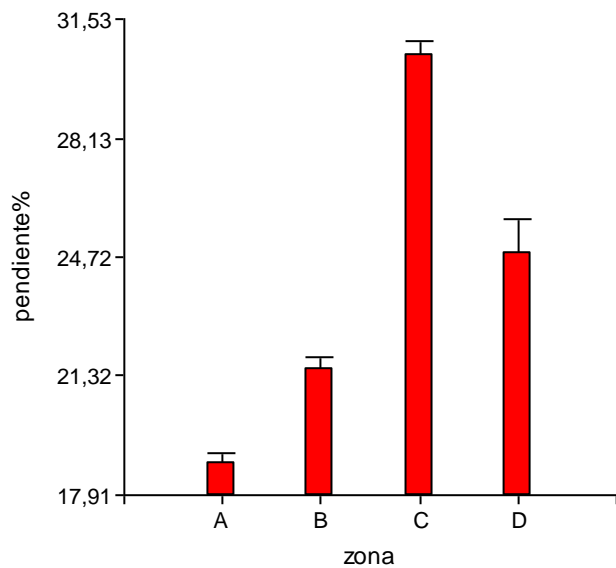
zona	longitud	pendiente%	n	
D	255,32	24,83	109	A
C	107,62	30,51	1526	B
B	42,45	21,54	2107	C
A	90,75	18,81	1413	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La prueba de Hotelling, señaló que la longitud y la pendiente% difiere significativamente ($p < 0,05$) para cada una de las cuatros zonas.



LA LONGITUD PROMEDIO EN EL SECTOR "D" POSEE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS RESPECTO A LAS OTRA TRES ZONAS.



LA PENDIENTE EN EL SECTOR "C" POSEE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS RESPECTO A LAS OTRA TRES ZONAS.



Análisis de la varianza multivariado ORIGEN

Cuadro de Análisis de la Varianza (Wilks)

F.V.	Estadístico	F	gl (num)	gl (den)	p
origen	0,94	75,80	4	10302	<0,0001

Ho: la longitud promedio no difiere para los tres orígenes y la pendiente% promedio no difiere para los tres orígenes.

Hi: la longitud promedio difiere para al menos uno de los tres orígenes y la pendiente% promedio difiere para al menos uno de los tres orígenes.

Según la prueba de Wilks, rechazo la Ho y me quedo con la Hi.

La prueba de Wilks indico que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) en la longitud promedio y en la pendiente% para al menos uno de los tres orígenes.

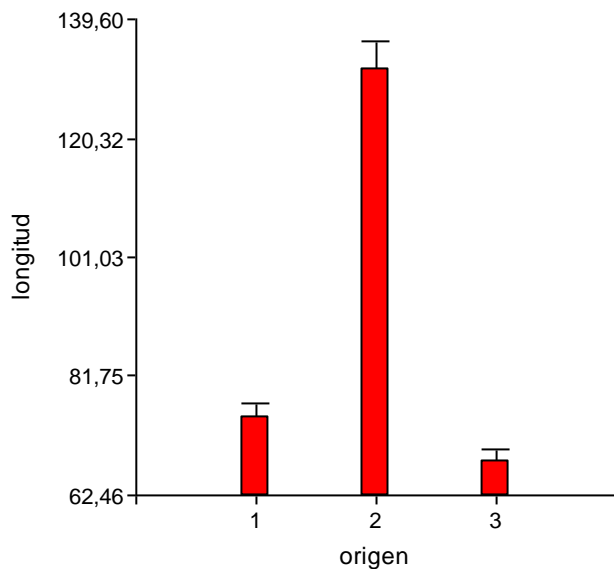
Prueba Hotelling Alfa=0,05

Error: Matriz de covarianzas común gl: 5152

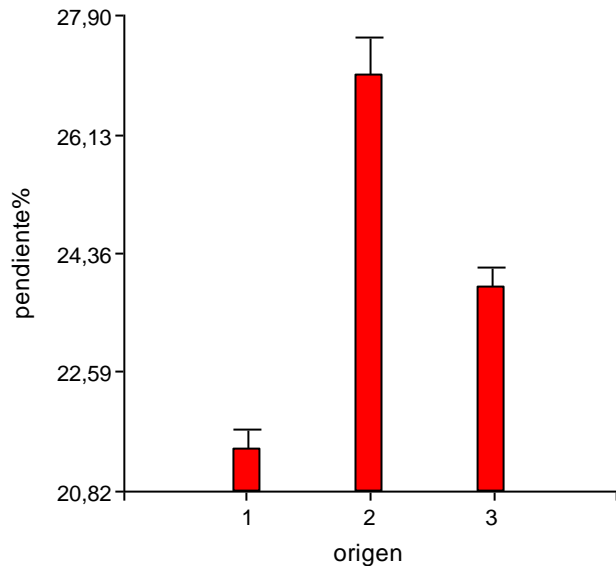
origen	longitud	pendiente%	n	
3	67,91	23,84	2729	A
2	131,58	27,01	745	B
1	75,18	21,45	1681	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La prueba de Hotelling, señaló que la longitud y la pendiente% difiere significativamente ($p < 0,05$) para cada uno de los tres orígenes.



LA LONGITUD PROMEDIO DIFIERE SIGNIFICATIVAMENTE DEPENDIENDO DEL ORIGEN, DESTACANDOSE LAS QUE SE ORIGINAN EN CAMINOS (2)



LA PENDIENTE PROMEDIO DIFIERE SIGNIFICATIVAMENTE DEPENDIENDO DEL ORIGEN, DESTACANDOSE LAS QUE SE ORIGINAN EN CAMINOS (2)

C:\Users\rober\Documents\ESTADISTICA\COLEGAS\Daniel gonzalez\carcavas.IDB2 : 15/9/2017 - 8:09:16 p. m. - [Versión : 20/7/2017]

Análisis de la varianza multivariado FORMACION

Cuadro de Análisis de la Varianza (Wilks)

F.V.	Estadístico	F	gl (num)	gl (den)	p	
formacion	0,88		117,13	6	10300	<0,0001

Ho: la longitud promedio no difiere para las cuatro formaciones y la pendiente% promedio no difiere para las cuatro formaciones.

Hi: la longitud promedio difiere para al menos una de las cuatro formaciones y la pendiente% promedio difiere para al menos una de las cuatro formaciones.

Según la prueba de Wilks rechazo el Ho y me quedo con la Hi.

La prueba de Wilks indico que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) en la longitud promedio y en la pendiente% para al menos uno de las cuatro formaciones.

Prueba Hotelling Alfa=0,05

Error: Matriz de covarianzas común gl: 5151

formacion	longitud	pendiente%	n	
4	139,54	17,70	17	A
1	40,05	25,51	13	B C
3	104,93	26,13	3001	B
2	43,28	19,87	2124	C

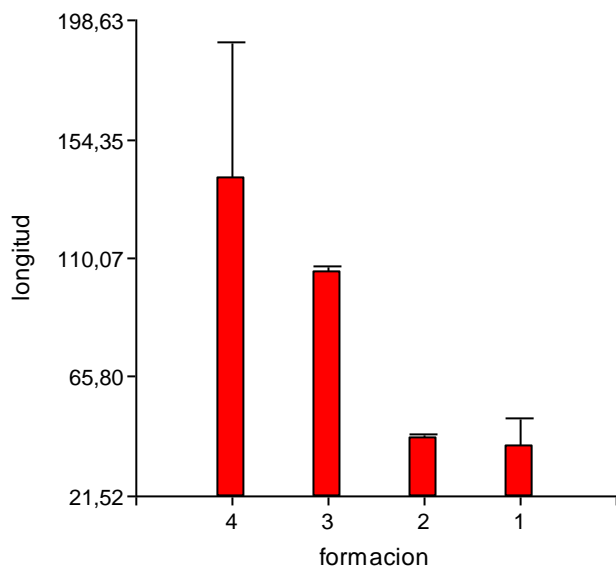
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

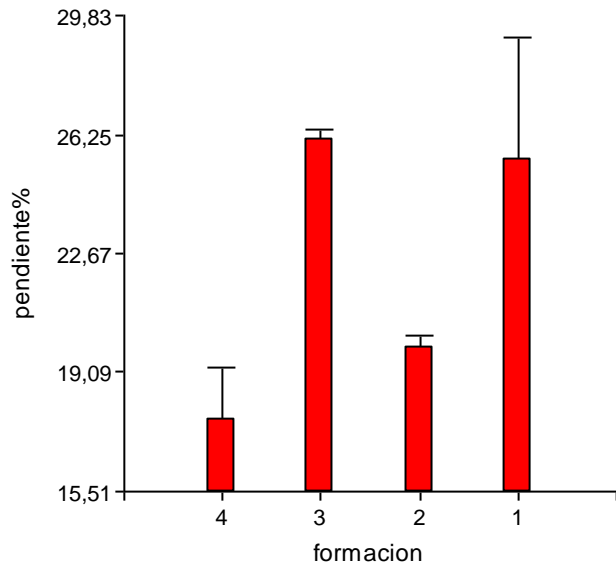


La prueba de Hotelling, señaló que la formación 4 difiere significativamente de las formaciones 1, 2 y 3 respecto de la longitud. Las formaciones 1 y 2 no difieren significativamente en longitud ($p > 0,05$). La formación 3 difiere significativamente en longitud respecto de las formaciones 1 y 2.

EXISTEN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ($P < 0,05$) EN PENDIENTE% PARA LAS FORMACIONES 4 RESPECTO DE LAS FORMACIONES 1, 2 Y 3. La formación 1 no difiere significativamente ($p > 0,05$) de la formación 3, en pendiente%.

1- RIO CHICO (NO HAY) 2- SARMIENTO 3- CHENQUE 4- SANTA CRUZ





C:\Users\rober\Documents\ESTADISTICA\COLEGAS\Daniel gonzalez\carcavas.IDB2 : 15/9/2017 - 8:11:07 p. m. - [Versión : 20/7/2017]

Análisis de la varianza multivariado CONFIGURACION

Cuadro de Análisis de la Varianza (Wilks)

F.V.	Estadístico	F	gl (num)	gl (den)	p
configuracion	0,85	223,13	4	10300	<0,0001

Ho: la longitud promedio no difiere para las tres configuraciones y la pendiente% promedio no difiere para las tres configuraciones.

Hi: la longitud promedio difiere para al menos una de las tres configuraciones y la pendiente% promedio difiere para al menos una de las tres Configuraciones.

Según la prueba de Wilks rechazo el Ho y me quedo con la Hi.

La prueba de Wilks indico que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) en la longitud promedio y en la pendiente% para al menos uno de las tres Configuraciones.

Prueba Hotelling Alfa=0,05

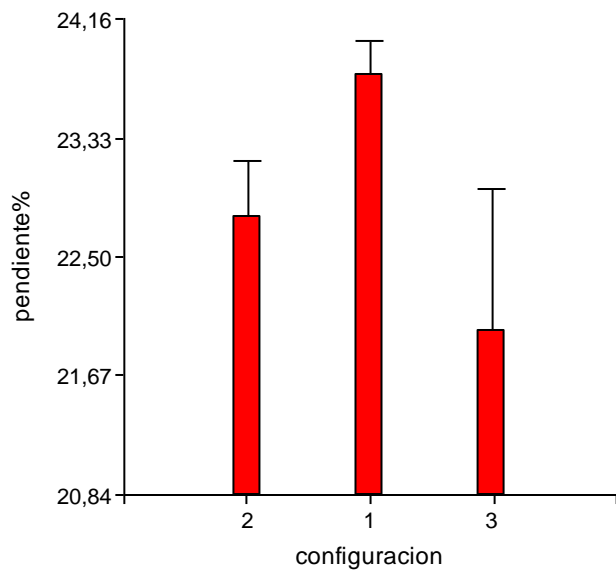
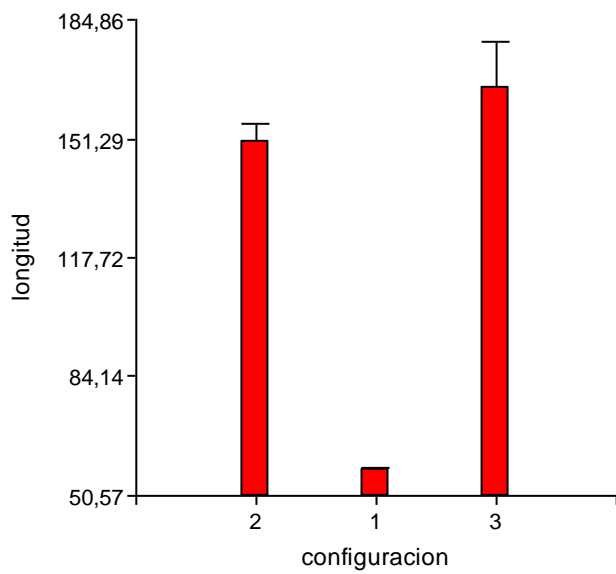
Error: Matriz de covarianzas común gl: 5151

configuracion	longitud	pendiente%	n	
1	57,70	23,77	3968	A
3	165,70	21,98	126	B
2	150,72	22,77	1060	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)



La prueba de Hotelling, señaló que la configuración 1 difiere significativamente ($p < 0,05$) de las *configuraciones* 2 y 3 respecto de la longitud y la pendiente%. Las configuraciones 2 y 3 no difieren significativamente ($p > 0,05$) en longitud ($p > 0,05$) ni en pendiente%.



LAS CÁRCAVAS MENORES A UN METRO DE ANCHO SE DESTACAN POR TENER LONGITUDES CORTAS Y ALTAS PENDIENTES.