

## Informe Final Indicadores Biológicos (2019-2020) predio Batalla Villamayor

**Krug, Pamela y Nanni, Analía**

### Introducción

Con el objetivo de evaluar la efectividad de la remediación realizada por ACUMAR en el año 2018 en el predio “Batalla Villamayor” (ex macrobasural a cielo abierto) se realizaron relevamientos de indicadores biológicos de acuerdo al Protocolo Complementario al Convenio Marco de Cooperación Interinstitucional para el monitoreo de indicadores y servicios ecosistémicos en intervenciones en la Cuenca Matanza Riachuelo, siendo este el informe final de indicadores biológicos. Los indicadores biológicos elegidos fueron comunidades vegetales, de anuros, de carábidos y afóridos (Insecta: Coleoptera). Los puntos de muestreo para cada comunidad se ubicaron de tal forma de abarcar la mayor variabilidad ambiental relacionada al gradiente topográfico que existe en el predio (zona alta, zona de media loma y zona parquizada aledaña al curso del arroyo Morales, Figura 1). Las comunidades vegetales fueron muestreadas durante el invierno y primavera de 2019, y verano de 2020, mientras que las comunidades de anuros y de ambas familias de coleópteros fueron estudiadas en la primavera y verano de los años mencionados.



**Figura 1:** Diseño de muestreo para vegetación, anuros, carábidos y afóridos. Se muestran las parcelas de seguimiento continuo para el muestreo de vegetación, las parcelas de muestreo visual de anuros, los puntos de muestreo auditivos de anuros y los sitios de colocación de trampas pitfall para carábidos y afóridos dentro del predio “Batalla Villamayor”, Marcos Paz. En violeta se muestra la zona parquizada, en verde la zona de media loma, en beige la zona alta, mientras que el círculo amarillo representa el bosque de ombú.

Las plantas son un importante componente dentro de un ecosistema, utilizadas muchas veces como indicatoras de las condiciones del mismo. Las principales características que las hacen apropiadas para este fin son sus niveles de riqueza relativamente altos, sus rápidas tasas de crecimiento y su respuesta

directa a los cambios ambientales tanto naturales como antropogénicos. Son usadas tanto a nivel de especie analizando características poblacionales que reflejan, por ejemplo, el impacto de determinados usos productivos; a nivel comunitario analizando cambios en la diversidad, riqueza o composición que pueden dar cuenta de una o varias características físico-químicas del suelo, microclimas o condiciones hidrológicas; como así también a nivel de paisaje analizando los patrones de distribución en el espacio y el tiempo como reflejo de cambios ocasionados por el calentamiento global, cambios en el uso de la tierra, etc. Por otro lado, cambios en su diversidad están acompañados de cambios en la composición funcional de la vegetación que a su vez alteran numerosas funciones y servicios ecosistémicos, por ejemplo, el incremento en la producción de biomasa y alteración de las tasas de ciclado de nutrientes debido al pastoreo intensivo que favorece plantas de rápido crecimiento no palatables.

Los anuros son un grupo particularmente interesante por la multiplicidad de funciones que cumplen dentro de ecosistemas acuáticos y terrestres y por su sensibilidad ante cambios en el ambiente. Su ciclo de vida doble (estadios netamente acuáticos seguidos de formas que habitan hábitats terrestres y de humedales), sus adaptaciones fisiológicas altamente especializadas y sus requerimientos específicos de microhábitat le otorgan características singulares y útiles en los estudios de ecosistemas. Por esta razón, los patrones de presencia, distribución y composición de sus comunidades se destacan como indicadores de la calidad ambiental para evaluar y pronosticar la magnitud de los efectos que generan las actividades humanas.

Los carábidos y afóridos, por su parte, ofrecen importantes servicios ecosistémicos tales como favorecer la productividad de los cultivos, en la descomposición de la materia orgánica, en el ciclado de nutrientes del suelo, en el control de plagas y la dispersión secundaria de semillas. En particular, las especies fosoriales, al excavar galerías, mejoran la estructura del suelo, aumentando su aireación, la infiltración del agua y el mejoramiento de las condiciones para el crecimiento de las raíces. Por esto, ambas familias son utilizadas a nivel mundial como indicadores del impacto de diferentes actividades antrópicas. Debido a su papel ecológico clave, la falta de estas familias puede afectar el funcionamiento de los ecosistemas tanto naturales como productivos.

## **Materiales y Métodos**

### *Muestreo de la comunidad vegetal*

Se relevaron las 8 parcelas de seguimiento continuo establecidas durante la estación invernal. Se colectaron y herborizaron las especies con estructuras reproductivas para la posterior identificación en laboratorio. Se estimó la cobertura de cada una de las especies dentro de las parcelas de 1 x 1 m (Figura 2) siguiendo la metodología de Braun-Blanquet (Braun-Blanquet, 1979).



**Figura 2.** Parcelas de seguimiento continuo para el muestreo de la comunidad vegetal. De izquierda a derecha: parcela en zona parquizada, parcela en media loma y parcela en el alto.

#### *Muestreo de la comunidad de anuros*

Se relevó la comunidad de anuros mediante dos metodologías: visual y auditiva (Heyer et al., 1994).

Muestreo visual por parcela: Se establecieron 7 parcelas al azar de 6 x 6 m para realizar los muestreos visuales de anuros en los distintos ambientes. Dentro de cada parcela se realizó un rastrillaje completo (Figura 3) con tres observadores. Se contaron cantidad de individuos y especie de cada uno.



**Figura 3.** Muestreo nocturno de anfibios.

Muestreo auditivo por puntos: Se establecieron dos puntos de muestreo auditivo, uno en cada extremo del predio, sobre el margen del arroyo Morales. Solo se pudieron establecer dos puntos debido a las dimensiones del predio. En cada punto se grabaron los cantos durante 15 minutos, y se anotaron las especies que se encontraban vocalizando y el número de individuos.

#### *Muestreo de la comunidad de carábidos y afóidos*

En cada uno de los sitios seleccionados se llevó a cabo la captura de los escarabajos de suelo mediante la colocación de dos trampas de caída o “pitfall” (Southwood, 1978) por cada sitio. Este método ha sido ampliamente utilizado en estudios de comunidades de artrópodos (Weyland, 2005). Las trampas se confeccionaron con recipientes de plástico de 9 cm de diámetro y 10 cm de alto y fueron enterradas a un centímetro por debajo del nivel del suelo. En su interior se colocaron 400 ml de alcohol 96% para el mantenimiento de los coleópteros colectados y glicerina para evitar que el alcohol se evapore por completo y, por ende, que los coleópteros se dessequen. Esta mezcla permite también la preservación del material aun cuando las trampas se encuentren en condiciones de anegamiento (Scampini et al., 2000). Sobre cada trampa se colocó un plato plástico con el fin de evitar la entrada de agua de lluvia dentro de la misma (Figura 4). Las trampas operaron simultáneamente durante una semana. Al cabo de este período fueron retiradas del campo.



**Figura 4.** Trampa de caída utilizada para la captura de los coleópteros en los distintos sitios presentes en el predio “Batalla Villamayor” (ex macrobasural de Marcos Paz).

Un total de 20 trampas fueron colocadas en el predio. Las trampas se dispusieron separadas por una distancia de 5 m entre sí en cada sitio de muestreo. La independencia muestral se basa en que se trata de trampas de caída muerte, es decir, los individuos que caen en una trampa ya no pueden caer en la que se encuentra a 5 m (Nanni et al., 2019).

El material biológico colectado durante cada muestreo fue guardado en bolsas herméticas con alcohol 96% para facilitar su transporte y prevenir su descomposición. En el laboratorio se separaron los individuos colectados de interés para este estudio del resto del contenido. Se identificaron todos los individuos de carábidos y afóridos hasta el nivel de especie utilizando las claves taxonómicas disponibles en la bibliografía y nuestro conocimiento previo.

#### *Análisis estadísticos*

**Riqueza específica:** La riqueza específica (S) es la forma más sencilla de medir la biodiversidad, ya que se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta la abundancia de las mismas.

**Diversidad:** Índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra. Adquiere valores entre cero, cuando hay una sola especie, y el logaritmo de S, cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos (Magurran 2013).

$$H' = - \sum p_i \log p_i$$

donde:  $p_i$  = abundancia proporcional de la especie i, es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

**Equitatividad:** índice de Pielou ( $J'$ ) es uno de los índices más utilizados

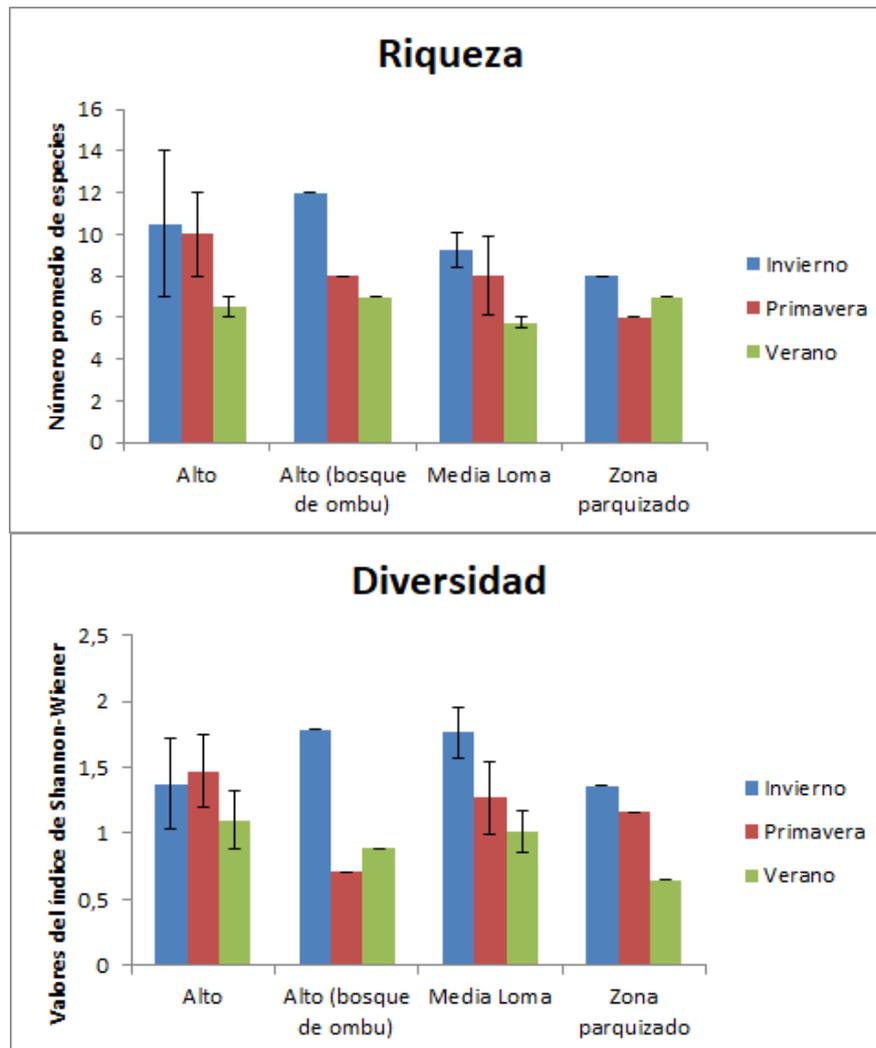
$$J' = H' / H'_{\max}$$

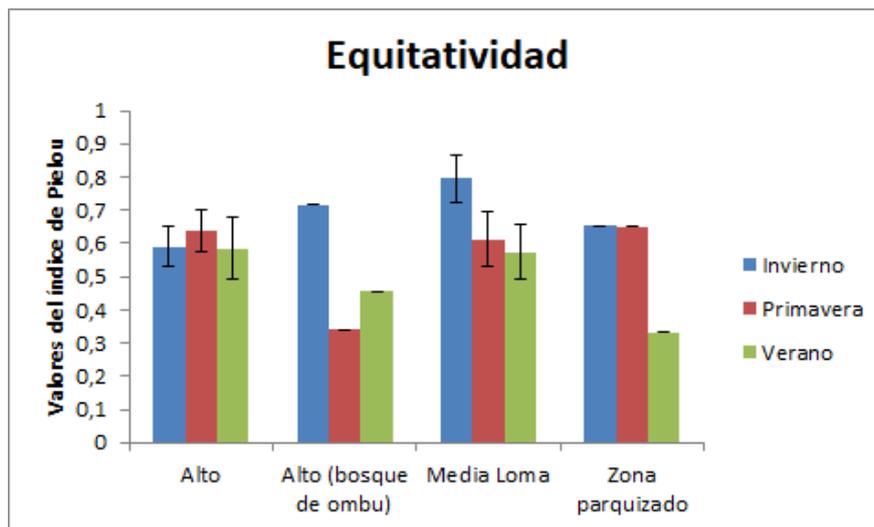
Donde  $H'_{\max} = \ln(S)$  y S = riqueza observada. Mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (Magurran 2013).

## Resultados

### *Resultados parciales de la comunidad vegetal*

Se identificaron un total de 52 especies vegetales. Los patrones de riqueza y diversidad muestran una leve tendencia que diferencia la media loma del alto, pero sin aparentes diferencias significativas (Figura 5). Se observa un gradiente estacional con el mayor número de especies durante el invierno y una disminución hacia el verano.



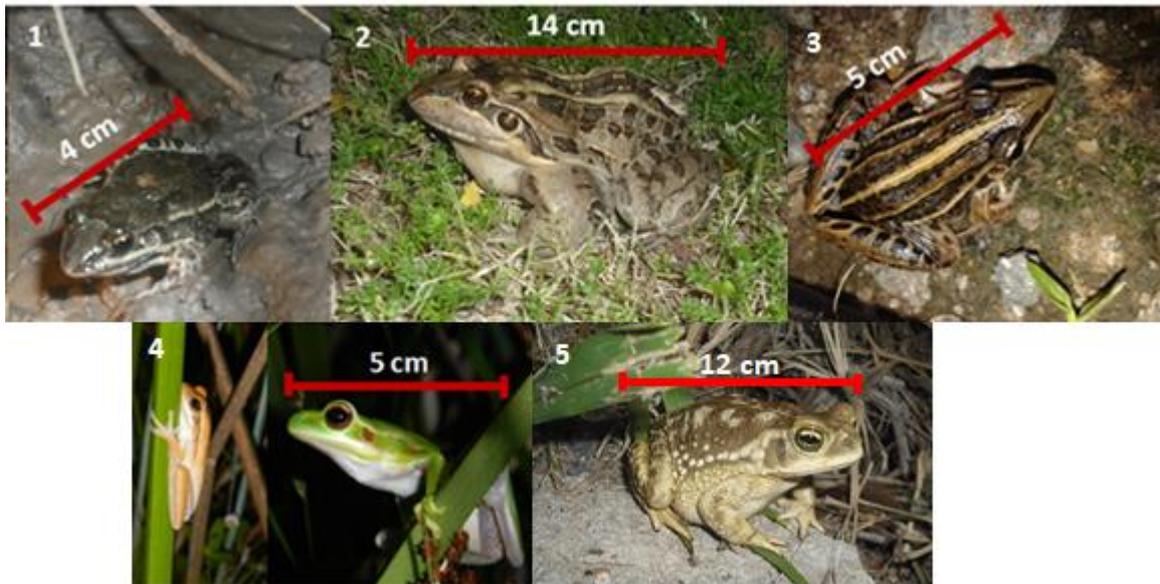


**Figura 5.** Resultados de los parámetros comunitarios para la comunidad vegetal durante el invierno y primavera del 2019 y verano de 2020. Se grafica el promedio y error estándar de cada zona topográfica.

En el caso de la zona parqueizada no se observa un cambio importante en el número de especies, pero sí una disminución en la equitatividad, lo cual indica la presencia de una o pocas especies dominantes.

#### *Resultados finales de la comunidad de anuros*

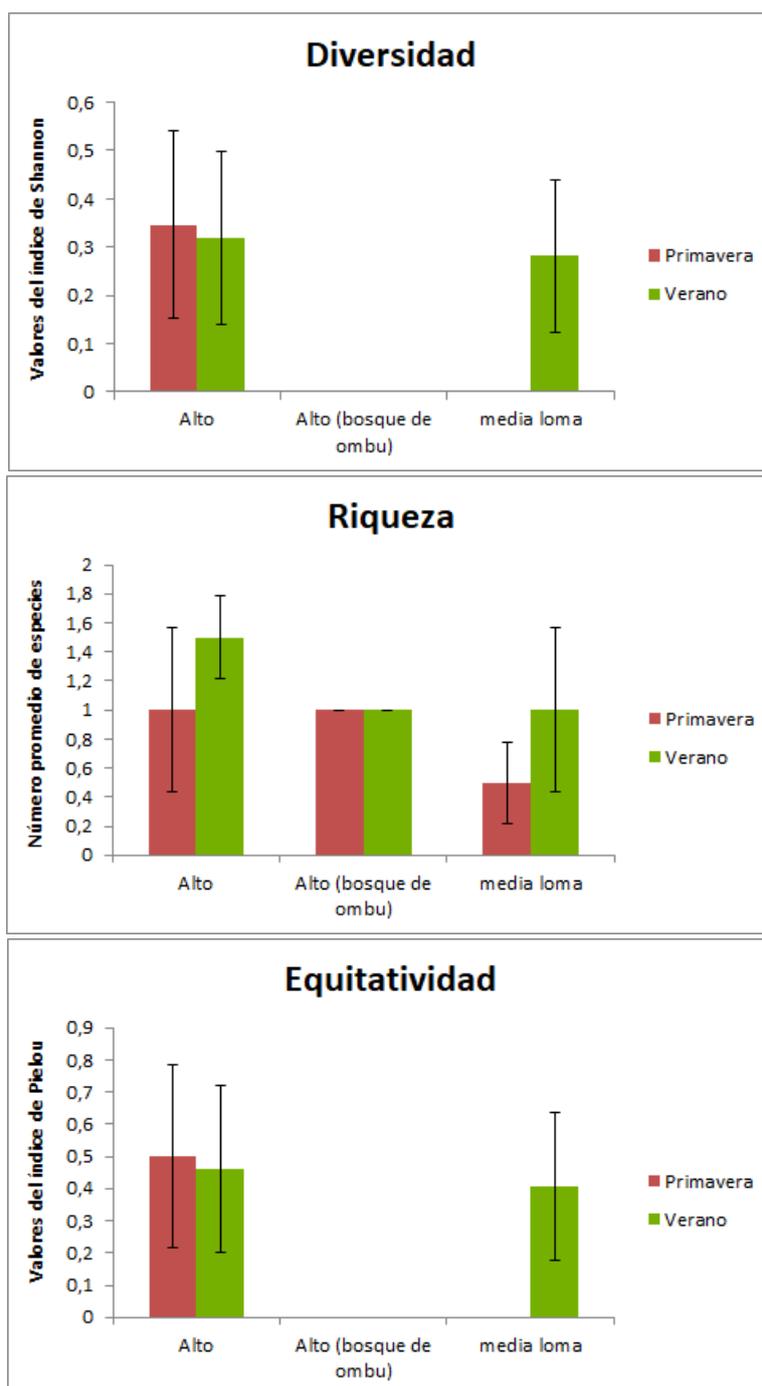
Se detectaron un total de 5 especies de anuros, 3 del género *Leptodactylidae*, una del género *Boana* (Figura 6) y una del género *Rhinella*. Dentro del muestreo visual se registraron individuos de rana criolla (*Leptodactylus latrans*), rana piadora (*Leptodactylus latinasus*), rana rayada (*Leptodactylus gracilis*) y sapo común (*Rhinella arenarum*). Dentro del muestreo auditivo, se registraron individuos de rana rayada, rana piadora y ranita del zarzal (*Boana pulchella*). Además, cayeron 4 individuos de sapo común dentro de las trampas para escarabajos.



**Figura 6.** Especies de anuros registradas en el predio “Batalla Villamayor”, Marcos Paz. 1) *Leptodactylus latinasus*, 2) *Leptodactylus latrans*, 3) *Leptodactylus gracilis*, 4) *Boana pulchella*, 5) *Rhinella arenarum*.

Las 3 especies del género Leptodactylidae son especies típicas de pastizal, mientras que *Boana pulchella* tiene hábitos arborícolas y suele estar asociada a vegetación palustre o pastizales altos. Por su parte, *Rhinella arenarum* se adapta a multiplicidad de hábitats desde ambientes naturales a peridomiciliarios. La rana piadora y la rana rayada se alimentan principalmente de arañas, hormigas, langostas y grillos, mientras que la rana criolla puede alimentarse de presas más grandes como escarabajos, pequeños vertebrados, mariposas y polillas. La ranita del zarzal, por sus hábitos más arborícolas, se especializa en presas voladores como moscas, mosquitos y algunas especies de escarabajos. El sapo común tiene una dieta generalista que incluye desde insectos y crustáceos a pequeños vertebrados (Ghirardi y López, 2017, Zaracho et al., 2011).

No se observan diferencias en cuanto al número de especies entre estaciones con la excepción de la aparición del sapo común durante el verano (Figura 7). Tampoco hay diferencias en esta variable en cuanto a la posición topográfica analizada, pero sí hay un cambio en cuanto a las especies encontradas. Las especies del género Leptodactylidae fueron encontradas en todos los ambientes con excepción de la zona aledaña al bosque de ombú, *Boana pulchella* sólo fue encontrada en el margen del arroyo Morales y *Rhinella arenarum* fue hallada en todos los ambientes.



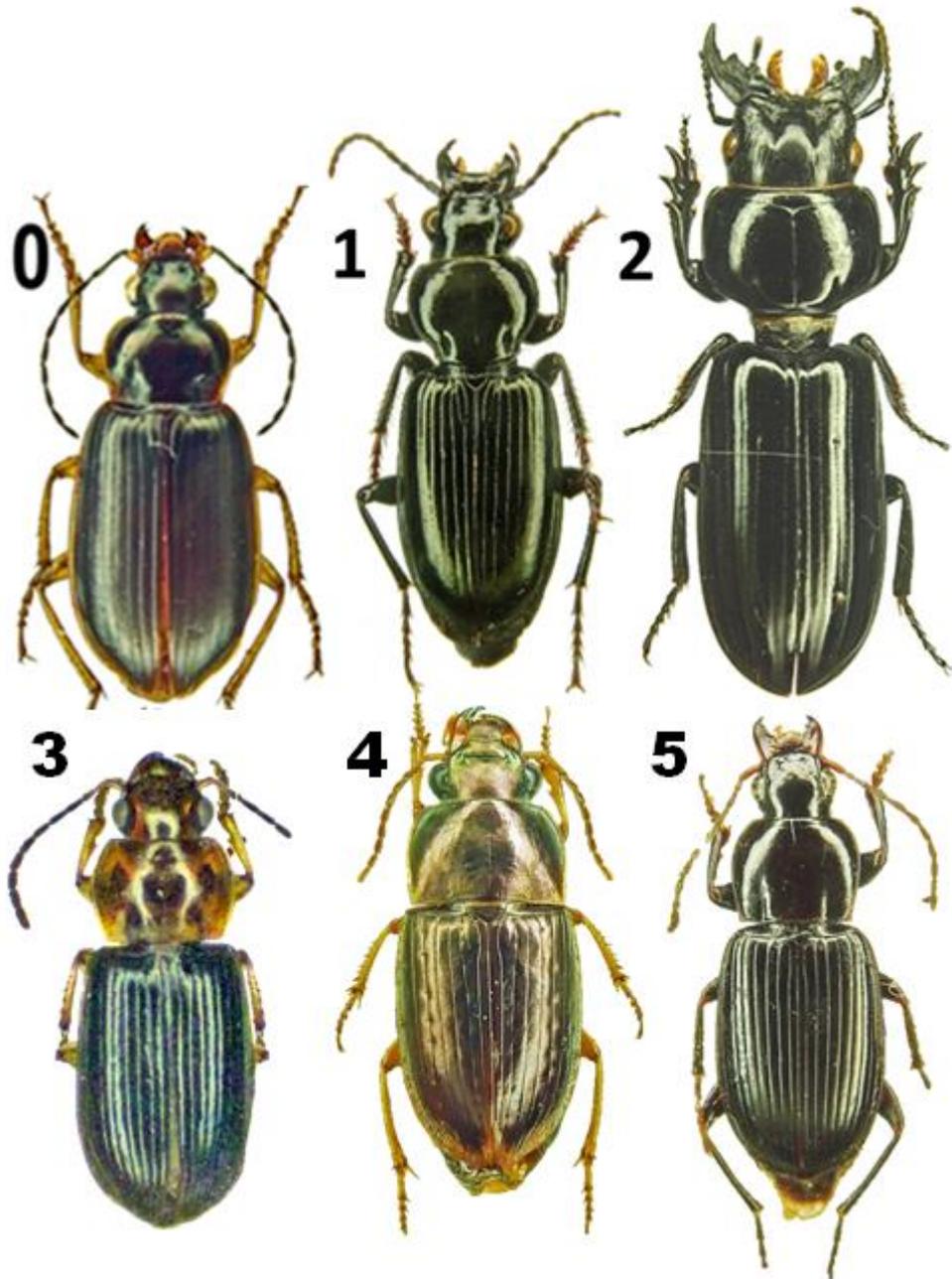
**Figura 7.** Resultados de los parámetros comunitarios para la comunidad de anfibios durante la primavera del 2019 y verano de 2020. Se grafica el promedio y error estándar de cada zona topográfica.

#### *Resultados finales de las comunidades de carábidos y afódidos*

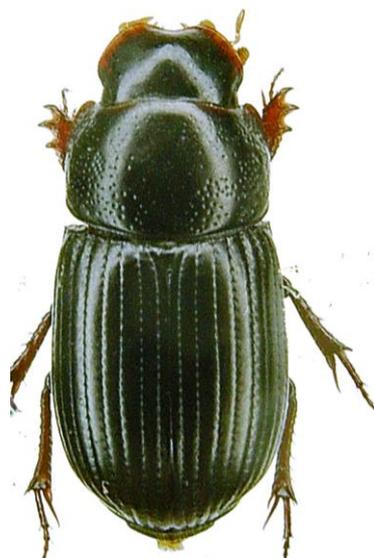
Las 40 trampas colocadas en total a lo largo de todo el muestreo (primavera 2019 y verano 2020) fueron recolectadas, es decir, no se perdió ninguna muestra.

Se identificaron un total de 50 individuos, 47 pertenecientes a la familia Carabidae y 3 a la familia Aphodiidae. Las especies de carábidos encontradas fueron: *Metius circumfusus*, *Phachymorphus*

*striatulus*, *Scarites anthracinus*, *Loxandrus audouini*, *Selenophorus rufulus* y *Selenophorus alternans* (Figura 8). *Ataenius opatroides* fue la única especie de afóvido registrada (Figura 9).

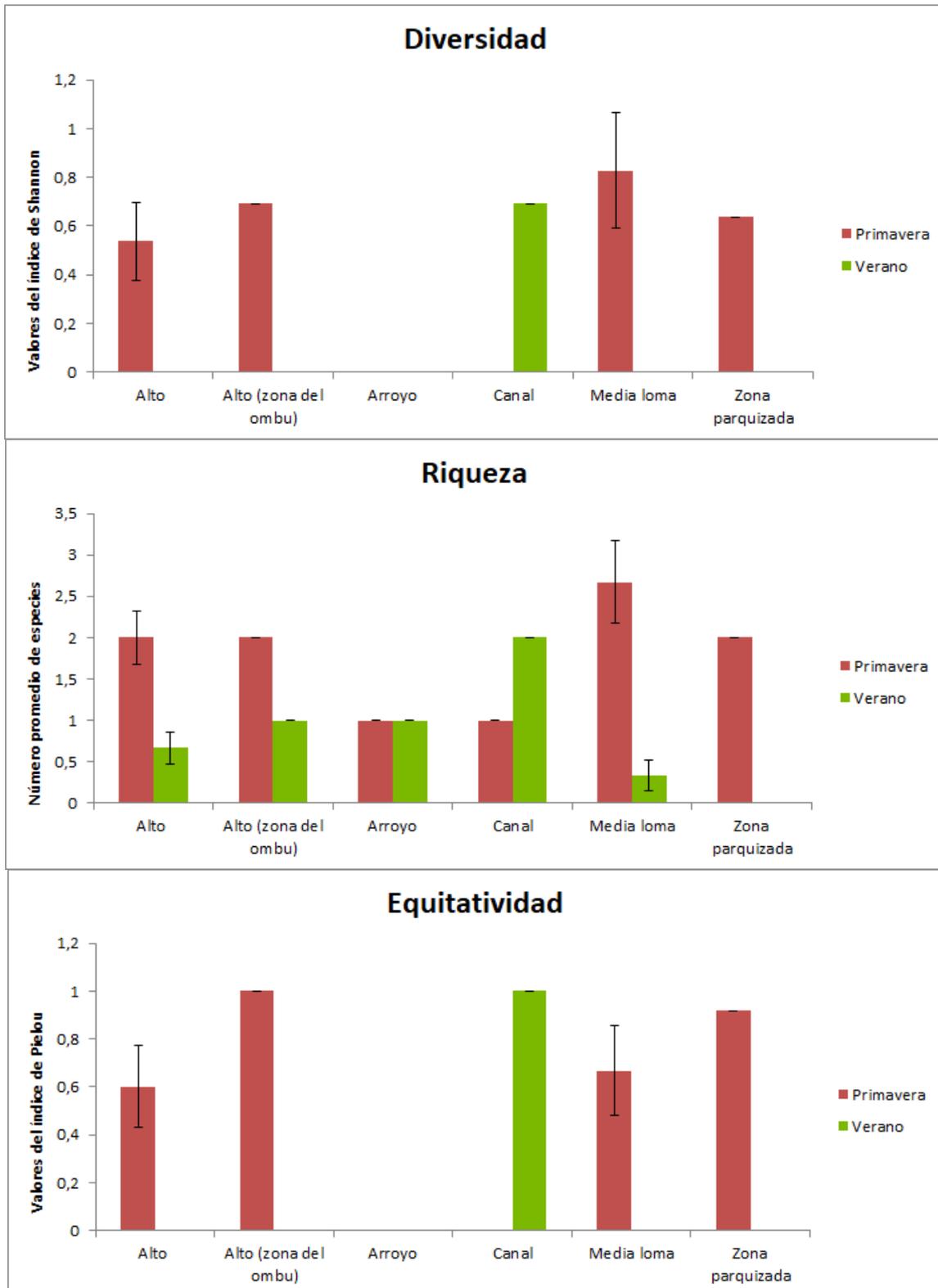


**Figura 8.** Foto tomada de los individuos colectados en el predio “Batalla Villamayor”, Marcos Paz. 0) *Metius circumfusus*, 1) *Pachymorphus striatulus* 2) *Scarites anthracinus*, 3) *Selenophorus rufulus*, 4) *Selenophorus alternans* y 5) *Loxandrus audouini*.



**Figura 9.** Foto de *Ataenius opatroides*, afóvido colectado en el predio “Batalla Villamayor”, Marcos Paz.

*S. anthracinus* fue la especie dominante seguida por *P. striatulus* en ambas estaciones. Durante el verano, ambas especies sólo aparecen juntas en el canal, esto explica los valores de diversidad y equitatividad en dicha estación (Figura 10). Las restantes 5 especies solo se registraron en la media loma en primavera, pero con bajas abundancias. Por este motivo, la media loma es el ambiente que presenta la mayor riqueza y diversidad de especies en primavera, seguido por la zona parqueizada y el alto (Figura 10).



**Figura 10.** Resultados de los parámetros comunitarios para la comunidad de anfibios durante la primavera del 2019 y verano de 2020. Se grafica el promedio y error estándar de cada zona topográfica.

*S. anthracinus* es una especie de gran talla con un peso promedio de 350 mg y un largo promedio de 20 mm (Nanni et al., 2015). *P. striatulus* es una especie de mediana talla con un peso promedio de 260 mg y un largo promedio de 16 mm, mientras que, *L. audouini* posee un peso promedio de 10 mg y un largo promedio de 10 mm (Nanni et al., 2015). *M. circumfusus* presenta un largo promedio de 8 mm. Por último, ambos *Selenophorus* son los que presentan la menor talla, con un largo promedio de 7 mm.

En relación a la morfología alar de las seis especies encontradas, podemos decir que se trata de especies macropteras. Especies con el segundo par de alas de longitud superior a la de los élitros.

Tanto *S. anthracinus* como *P. striatulus* son tolerantes a los ambientes con baja humedad edáfica, pero, en general, cercanos a cuerpos de agua. Razón por la cual son consideradas especies de carácter mesófilas (Nanni et al., 2016). *S. alternans* y *S. rufulus*, también, son especies mesófilas, pero toleran ambientes con menor humedad edáfica que las dos primeras, es decir, ambientes más secos. *M. circumfusus* y *L. audouini* se encuentran descritas como especies hidrófilas, es decir, tolerantes a ambientes con alta humedad edáfica (Nanni et al., 2016).

*S. anthracinus*, *P. striatulus* y *M. circumfusus* se encuentran en una gran variedad de tipos de hábitat por lo que se consideran generalistas de hábitat. Además, son sinantrópicas y hemisinantrópicas lo que significa que están muy asociadas a los seres humanos (Cicchino et al., 2003; Cicchino et al., 2013). Por otro lado, *L. audouini* y ambos *Selenophorus* son considerados especialistas de hábitat debido a que se encuentran asociados a un solo tipo de ambiente o en unos pocos (Cicchino et al., 2013; Nanni et al., 2019).

*S. anthracinus*, *L. audouini* y *P. striatulus* son especies zoófagas, su dieta consiste principalmente en la ingesta de otros artrópodos y de animales de cuerpo blando (e.g., moluscos, anélidos, nematodos y planarias) (Nanni et al., 2016). *M. circumfusus*, por su parte, presenta una dieta omnívora, compuesta por una amplia variedad de fuentes de alimentos diferentes (e.g., carnívora, herbívora y fúngica) (Nanni, 2017). *S. alternans* y *S. rufulus* presentan una dieta granívora, es decir, se alimentan de las semillas de varias especies de plantas herbáceas (Nanni et al., 2016).

Finalmente, se encontraron 3 especímenes pertenecientes a la especie *Ataenius opatroides*. En general, los afódidos se caracterizan por ser especies saprófagas o coprófagas (Stebnicka, 2001), dieta que consiste en la ingesta de tejidos vegetales en descomposición proveniente de las heces de mamíferos herbívoros (Nanni et al., 2019). *A. opatroides* es una especie de pequeña talla con una longitud promedio de 7 mm. Esta especie se encontró en la media loma y en la zona parquizada aportando a la riqueza y diversidad de estos ambientes.

## Discusión

La tendencia decreciente de la riqueza y diversidad de especies vegetales desde el invierno al verano, es coherente al patrón esperado para la zona por ser parte de la ecorregión Pampeana, que se caracteriza por tener el máximo de cobertura hacia fines de invierno y el mínimo hacia el verano u otoño (Cabrera, 1976). La vegetación es una pseudoestepa formada por gramíneas alternadas con especies no graminiformes generalmente en baja cobertura. Las variaciones estacionales se deben posiblemente a la aparición de especies estivales que no toleran las condiciones más húmedas de la media loma y tampoco soportan las heladas de la época invernal. Por otro lado, cabe destacar que la baja diversidad y equitatividad de la parcela asociada al bosque de ombú implantado respecto del invierno puede relacionarse a que los ombúes

de esta zona no sobrevivieron dejando un parche más desprotegido con una dominancia marcada de gramíneas, es probable que esta parcela evolucione hacia una composición similar a la del resto de los altos muestreados por su posición topográfica. Esta parcela y la parcela de la zona parqueada cercana al ceibo se mantienen separadas de los análisis por pedido de ACUMAR, y para evaluar el efecto de la implantación de los árboles realizada para la restauración del predio. Sería conveniente en futuros análisis evaluar si estas variaciones en la diversidad y riqueza están asociadas a la presencia de especies exóticas o nativas.

En el caso de los anuros, la mayor abundancia registrada en primavera fue de dos especies de tamaño pequeño (rana rayada y rana piadora) con una dieta principalmente de hormigas y langostas (Ghirardi y López, 2017), dos grupos que pueden considerarse pioneros en la colonización de ambientes intervenidos por el hombre. La presencia de rana criolla adulta dentro del predio puede ser un indicativo importante de que existe una disponibilidad de presas suficientes para mantenerla. Sin embargo, sólo se detectaron dos ejemplares en ambos muestreos con lo cual se puede sospechar que provengan de los campos aledaños y estén en una etapa inicial de colonización de este nuevo ambiente. Se espera que, en los próximos muestreos de años sucesivos, se encuentre mayor número de ejemplares y la presencia de puestas o renacuajos que evidencien que las especies se encuentran habitando permanentemente el predio. Algo similar ocurre con el sapo común que sólo fue detectado durante el verano. Esta también es una especie de gran porte que requiere de una importante disponibilidad de presas para mantener poblaciones estables. En este caso el número de ejemplares encontrados fue 8 y todos estadios juveniles. Por esta razón se cree que habría llegado al predio recientemente y se espera encontrar adultos vocalizando y ristas en los siguientes muestreos que indiquen su asentamiento en el lugar. La ranita del zarzal sólo fue detectada en la primavera vocalizando principalmente sobre la margen izquierda del arroyo Morales, por lo cual es de esperar que, en futuros muestreos, con el avance de la vegetación palustre en la margen derecha (lado del predio Batalla Villamayor), se encuentren cada vez más ejemplares.

*S. anthracinus*, *P. striatulus* y *M. circumfusus* son generalistas de hábitat, es decir, sin requerimientos específicos de hábitat. Dichos individuos se adaptan a una amplia gama de condiciones ambientales favoreciendo su proliferación. Esto es coincidente con lo encontrado por otros autores para estas mismas especies (Castro, 2014; Porrini et al., 2010; Cicchino et al., 2010; 2003). Este resultado es esperable dado que es un ambiente con poco tiempo de recuperación, o en un estado temprano de sucesión. Durante las primeras etapas de un ambiente en recuperación primero colonizan especies generalistas de hábitat, y a medida que el ambiente se va complejizando y aumenta la oferta de nichos disponibles se incorporan al elenco especies con requerimientos específicos de hábitats. Esto es lo que se espera para los próximos años en este predio si no sufriera ningún nuevo disturbio o modificación antrópica. Además, las especies de carábidos encontradas habitan ambientes con moderada intervenciones humanas, como sería el caso del predio Batalla Villamayor donde actualmente, no se realizan intervenciones y se deja al ecosistema que continúe con el proceso de sucesión.

En particular, *P. striatulus* se asocia con ambientes donde la cobertura de estrato herbáceo es elevada, bajo porcentaje de humedad en suelo, bajas coberturas de mantillo y estrato arbustivo y bajo contenido de materia orgánica en descomposición (Porrini et al., 2010; Cicchino et al., 2005). Estas características ambientales concuerdan con las vistas en la zona parqueada y alta en el predio. *S. anthracinus* es una especie que se encuentra mayormente asociada a una elevada cobertura de estrato arbustivo. A lo largo del predio existen varios parches de estrato arbustivo, sobre todo cerca a los cursos de agua y cerca de la

plantación de espinillos. Por lo que dicha especie fue muy abundante en los distintos ambientes muestreados (canal, alto e incluso cerca del arroyo).

Otro importante indicio de la recuperación de los ambientes estudiados, es la aparición de tres especies consideradas especialistas de hábitat, aunque sea en muy baja abundancia (1 individuo de cada especie). *L. audouini* es una especie considerada típica de humedal (Nanni et al., 2019), mientras que, *S. alternans* y *S. rufulus* son especies típicas de pastizales (Cicchino et al., 2013). Los hábitats característicos de dichas especies concuerdan con su hallazgo en la media loma, donde predomina el estrato herbáceo y los suelos presentan mayor humedad que en la zona alta. En los próximos años se esperaría el aumento de la abundancia de estas tres especies, para confirmar su establecimiento en el predio.

Las especies zoófagas no solo fueron las de mayor número, sino que también mostraron diferentes tamaños corporales, lo que refleja una elevada diversidad y abundancias de presas disponibles (Honěk y Jarošík, 2000), es decir, una cadena trófica compleja y completa. Los sitios estudiados poseen un gran número de microhábitats que facilitan la diversificación de las presas presentes, permitiendo, de esta manera, la presencia de especies depredadoras con distintas estrategias de alimentación (Lassau et al., 2005). Una de ellas sería incrementar su actividad en función de la disponibilidad de presas (Honěk y Jarošík, 2000; Stork y Paarman, 1992). Por ejemplo, Tulli et al. (2009) encontraron que en la Provincia de Buenos Aires, *S. anthracinus* se alimentó de moluscos (*Deroceras reticulatum*) y crustáceos (Isópodos del Género Oniscoidea), los que son muy abundantes entre octubre y diciembre, época en la cual la especie presenta su mayor actividad. Las especies granívoras, ambas *Selenophorus*, juntan semillas en sus cuevas y galerías para tener reserva alimenticia durante el otoño y el invierno (Nanni et al., 2016). Esta actividad facilita el rebrote de las especies vegetales, generando una dispersión de semillas por el predio.

A pesar de que la mayoría de las especies son zoófagas, todos los eslabones de la cadena trófica se vieron representados en las especies de escarabajos encontradas (detritívoros, herbívoros y carnívoros). Esto brinda una noción de estabilidad ambiental o tendencia hacia la misma.

Casi todas las especies de afóidos presentes en ambientes con ganado presentan un tipo de alimentación detritívora ya que utilizan la materia orgánica en descomposición como fuente de recursos alimenticios o de nidificación (Cabrero-Sañudo y Lobo, 2003; Smith y Skelley, 2007). En el caso del predio, el ingreso ocasional de ganado perteneciente a campos vecinos genera una oferta de nichos nueva para las especies de afóidos permitiendo la colonización del mismo tanto en la media loma como en la zona parquizada y el alto.

Los afóidos fueron encontrados sólo en primavera, esto tiene relación con su típico pico de actividad estacional y la temperatura óptima del vuelo (Nanni, 2017). Su pequeño tamaño corporal refleja restricciones fisiológicas para el vuelo (Casey y Joos, 1983). Es probable que la temperatura ambiental durante la primavera les resulte favorable para la regulación de la temperatura corporal durante el vuelo, generando condiciones fisiológicas propicias para la actividad de las especies de afóidos.

El hecho de que todas las especies de coleópteros encontradas presentan una morfología alar macróptera, nos da la pauta de la posible dispersión de dichos individuos a partir de localidades vecinas. El arribo de estas especies al predio, recientemente restaurado, podría estar dado tanto por el vuelo propio de los individuos como por una acción combinada entre la vegetación flotante que circula en el curso de agua principal (arroyo Morales) y el vuelo de los individuos.

En función de todos los indicadores biológicos analizados hasta el momento, podemos decir que el proceso de restauración del predio “Batalla Villamayor” estaría evolucionando exitosamente. A pesar de que el tiempo de intervención es relativamente corto, el elenco de especies presentes evidencia un proceso de sucesión en sus estadios tempranos. El monitoreo futuro del mismo es recomendable para poder evaluar la recuperación de bienes y servicios ecosistémicos en el predio.

### **Recomendaciones a futuro**

En el caso de la vegetación se recomienda hacer muestreos con identificación taxonómica para detectar las principales especies exóticas invasoras que pudieran aparecer y, de esta manera, idear formas de manejo tempranas para su control.

Para los anfibios se propone mantener los muestreos durante la primavera y el verano para abarcar la actividad reproductiva de la mayor parte de las especies actualmente detectadas y de las que pudieran empezar a colonizar el predio.

Se recomienda mantener los muestreos de carabidos y afódidos en primavera e incorporar muestreos invernales para indagar qué sucede con las comunidades en esta época, dado que se sabe por bibliografía que algunas especies presentan un pico de actividad durante ese periodo.

En el caso de necesitar realizar prácticas de manejo dentro del predio sería recomendable hacerlo durante el otoño o fines del verano que es el periodo en el cual los grupos analizados se encuentran menos activos y no se afecta de esta manera sus patrones y conductas reproductivas.

### **Bibliografía**

Brandmayr, P., Zetto, T. y Pizzolotto, R. (2005). I coleotteri Carabidi per la valutazione ambientale e la conservazione della biodiversità. APAT, Roma.

Braun Blanquet J. (1979). Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales. H. Blume.

Cabrero-Sañudo F. J. y Lobo, J. M. (2003). Reconocimiento de los factores determinantes de la riqueza de especies: El caso de los Aphodiinae (Coleoptera, Scarabaeoidea, Aphodiidae) en la península ibérica. *Graellsia*, 59(2-3): 155-177.

Casey, T. M., y Joos, B. A. (1983). Morphometrics, conductance, thoracic temperature, and flight energetics of noctuid and geometrid moths. *Physiological Zoology* 56: 160–173.

Castro, A. (2014). Ensemble de Carabidae (Insecta, Coleoptera) del talar más austral del sudeste bonaerense y de su entorno modificado. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Mar del Plata.

Cicchino, A., Marasas, M., y Paleologos, M. (2003). Características e importancia de la carabidofauna edáfica de un cultivo experimental de trigo y sus bordes con vegetación espontánea en el partido de La Plata, Provincia de Buenos Aires. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 8: 41-55.

Cicchino, A. C., Marasas, M. E., y Paleologos, M. F. (2005). Fenología y densidad actividad de cinco especies de Carabidae (Coleoptera) edáficas en un cultivo experimental de trigo y su entorno en el partido de La Plata, provincia de Buenos Aires. En: V REBIOS, San Salvador de Jujuy, 2005, Área temática I, Comunidades Terrestres I, pp. 1-14.

Cicchino, A. C., Castro, A. V., y Porrini, D. P. (2010). Dominancia estacional de las carabidae edáficas (INSECTA, COLEOPTERA) en dos ambientes de la reserva integral Laguna de los Padres, Partido de General Pueyrredón, Provincia de Buenos Aires. XXII congreso argentino de la ciencia del Suelo – Rosario, Argentina. ISBN: 976-967-24771 -3-4

Cicchino, A. C., Nanni, A. S., Fracassi, N. G., y Quintana, R. D. (2013). Las Carabidae de los suelos del Bajo Delta Bonaerense del Rio Paraná. Estado actual de su conocimiento. Libro de Actas, Tercer Congreso Nacional de Ecología y Biología de Suelos. Diversidad, Monitoreo y Conservación. ISBN 978-987-688-037-4: 8 p.

Ghirardi R. & López J.A. (2017). Anfibios de Santa Fe.

Heyer, W .R., Donnelly, M. A., McDiarmid, R. W., Hayek, L. C., Foster, M. S. (eds). (1994). Measuring and Monitoring Biological Diversity: Standard Methods for Amphibians. Smithsonian Institution Press, Washington D.C., USA. 364 pp.

Honěk, A., y Jarošík, V. (2000). The role of crop density, seed and aphid presence in diversification of field communities of Carabidae (Coleoptera). European Journal of Entomology, 97: 517- 525.

Lassau, S. A., Hochuli, D. F., Cassis, G., y Reid, C. A. (2005). Effects of habitat complexity on forest beetle diversity: do functional groups respond consistently? Diversity and Distribution 11, 73–82.

Magurran, A.E. (2013). Ecological diversity and its measurement. Springer Science y Business Media.

Moreno, C. E., y Halffter, G. (2001). Spatial and temporal analysis of alpha, beta and gamma diversities of bats in a fragmented landscape. Biodiversity and Conservation 10, 367–382.

Nanni, A., Cicchino, A., y Quintana, R. D. (2015). ¿Pueden los Carábidos del delta del Paraná controlar plagas forestales? Libro trabajos completos: Enfoques interdisciplinarios para la sustentabilidad del ambiente. II Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología Ambiental. II Congreso Nacional de la Sociedad Argentina de Ciencia y Tecnología Ambiental. ISBN 978-987-46096-1-8. 151-156 p.

Nanni, A. S., Quintana, R. D., Fracassi, N. G., y Cicchino, A. C. (2016). Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) inhabiting anthropogenic habitats in the lower delta of the Paraná river, Argentina: geographic distribution and ecological characteristics. *Austral Entomology*.

Nanni A. S. (2017). Análisis de las comunidades de Carabidae y Afodiidae (Insecta, Coleóptera) bajo diferentes usos del suelo en el Bajo Delta del río Paraná. In: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

Nanni, A. S., Fracassi, N. G., Magnano, A. L., Cicchino, A. C. and Quintana, R. D. (2019). Ground Beetles in a Changing World: Communities in a Modified Wetland Landscape. *Neotropical entomology*, 48(5): 729-738.

Porrini, D., Castro, A., y Cicchino, A. (2010). Distribución espacial y temporal de *Paranortes cordicollis* y *Pachymorphus striatulus* (Coleóptera, Carabidae) en dos ambientes edáficos de la laguna Nahuel Rucá, Buenos Aires, Argentina. .XXII Congreso Argentino de la ciencia del suelo.

Scampini, E. M., Cicchino, A. C., y Osterrieth, M. L. (2000). La carabidofauna edáfica asociada a los suelos bajos anegadizos próximos a la desembocadura del Arroyo de los Padres, Partido de General Pueyrredón, Buenos Aires. Resultados preliminares. Trabajos XVII Congreso argentino de la Ciencia del Suelo (Mar del Plata, 11-14 de abril 2000) II (44), 4 pp.

Smith, A. B. T., y Skelley, P. E. (2007). A review of the Aphodiinae (Coleoptera: Scarabaeidae) of southern South America. Magnolia Press. *Zootaxa* 1458.

Southwood, T. (1978). *Ecological methods*. Second Edition, Chapman y Hall. England. 570 p.

Stebnicka, Z. T. (2001). Aphodiinae (Insecta: Coleoptera: Scarabaeidae). *Fauna of New Zealand* 42. Manaaki Whenua Press, Lincoln, Canterbury, New Zealand, 64 pp.

Stork, N. E., y Paarman, W. (1992). Reproductive seasonality of the ground and tiger beetle (Coleoptera: Carabidae, Cicindelidae) fauna in North Sulawesi (Indonesia). *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 27: 101-115.

Tulli, M. N., Carmona, D. M., López, A. N., Manetti, P. L., Vincini, A. M., y Cendoya, G. (2009). Predation on the slug *Deroceras reticulatum* (Pulmonata: Stylommatophora) by *Scarites anthracinus* (Coleoptera: Carabidae). *Ecología Austral*, 19: 55-61.

Weyland, F. (2005). Efecto de prácticas de conservación de suelo sobre la diversidad de artrópodos en lotes de soja. Tesis de Licenciatura. EEA INTA Paraná. 54 p.

Zaracho V.H., Céspedes J.A., Alvarez B.B. & Lavilla E. (2011). Anfibios de Corrientes: una guía de campo. Fundación Miguel Lillo, Ministerio de Educación de la Nación.

*Monitoreo de indicadores de servicios ecosistémicos*  
**Indicadores de evolución de calidad del suelo en la intervención realizada  
por la DEIAS de ACUMAR sobre el Arroyo Morales**  
**DICIEMBRE 2018 – FEBRERO 2021**

*Vera Mignaqui, Celeste Merino, Sofia Fantoni, Lucila Sandri, Mauro Sanchez, Griselda Polla*  
*Grupo de Vinculación y Transferencia Tecnológica*  
*Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental*  
*Universidad Nacional de San Martín*

## Contenido

<b>Introducción</b> .....	2
<b>Objetivos</b> .....	2
<b>Marco teórico</b> .....	2
<i>Textura</i> .....	2
<i>Conductividad hidráulica por infiltración</i> .....	3
<i>Densidad aparente</i> .....	3
<i>pH</i> .....	4
<i>Capacidad buffer</i> .....	4
<i>Carbono orgánico total y materia orgánica</i> .....	4
<i>Capacidad de Intercambio Catiónico</i> .....	5
<b>Metodología</b> .....	6
<i>Toma de muestras</i> .....	6
<i>Caracterización de las muestras</i> .....	7
<b>Resultados</b> .....	8
<b>Discusión</b> .....	9
<b>Bibliografía</b> .....	12
<b>Anexo – Cuadro de resultados</b> .....	13

## Introducción

El grupo de Vinculación y Transferencia Tecnológica del Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de San Martín aceptó la convocatoria del equipo de la Dirección de Evaluación de Impacto Ambiental y Social (DEIAS) de ACUMAR para hacer monitoreo del suelo en el área intervenida por ACUMAR del paseo “Batalla de Villamayor” en la Cuenca del Arroyo Morales en Marcos Paz, provincia de Buenos Aires. La intervención, que implicó el tapado del basural a cielo abierto y la plantación de especie nativas, se concluyó a fines del 2018 (ACUMAR, 2018, 2019; DEIAS-ACUMAR 2019). La intención de la intervención, entre otras, fue la de aumentar la capacidad de retención hídrica del suelo de modo de mejorar las condiciones para un correcto desarrollo de flora y fauna como para una disminución de la escorrentía aguas abajo efecto de la mayor retención hídrica.

El presente trabajo se enmarca en el informe final de acuerdo al Protocolo Complementario al Convenio Marco de Cooperación Interinstitucional para el monitoreo de indicadores y servicios ecosistémicos en intervenciones en la Cuenca Matanza Riachuelo para el caso de los indicadores de calidad de suelo.

## Objetivos

El objetivo del trabajo solicitado es evaluar la eficiencia de la intervención realizada sobre la capacidad de retención hídrica del suelo de tapada colocado sobre el ex-basural a cielo abierto que estaba ubicado en el predio, luego que este suelo fuera intervenido con la plantación de nativas. La finalidad del estudio es hacer un seguimiento semestral de esta evolución y analizar el efecto de la intervención sobre las características originales del mismo, con foco en la retención hídrica.

Mediante el monitoreo periódico y sistemático se evaluará la evolución de los siguientes parámetros en el suelo del predio:

- Textura
- Conductividad hidráulica por infiltración
- Densidad aparente
- pH
- Capacidad buffer
- Carbono orgánico total y materia orgánica
- Capacidad de Intercambio Catiónico

## Marco teórico

El servicio ecosistémico de interés para este trabajo es la capacidad de retención hídrica del suelo de modo de mejorar las condiciones para un correcto desarrollo de flora y fauna como para una disminución de la escorrentía aguas abajo efecto de la mayor retención hídrica. El análisis del agua del suelo se relaciona con el análisis de las propiedades de almacenamiento, la capacidad del suelo para absorber y retener agua, y el análisis de las propiedades hidráulicas, la capacidad del suelo para transmitir o conducir agua. Los indicadores usados para medir estas propiedades son, entre otros, Textura, Conductividad hidráulica por infiltración, Densidad aparente, pH, Capacidad buffer, Carbono orgánico total y materia orgánica, Capacidad de Intercambio Catiónico.

### ***Textura***

La textura del suelo es la proporción (porcentaje en peso) de arena, limo y arcilla en la fracción de tierra fina ( $\leq 2$  mm). Las arenas son partículas minerales con un rango de tamaño de 2 a 0,06 mm, el limo de 0,06 a 0,002 mm y las partículas de arcilla de menos de 0,002 mm, como se indica en la escala de Wentworth (1922). La clase textural correspondiente se determina en función a

la proporción de cada una de estas franjas de tamaño (arena, limo y arcilla) (Soil Survey Staff, 2009), pudiendo ser arcilloso, arenoso, limoso, franco o combinaciones de los mismos. (Ciancaglini, s.f.)

La importancia de conocer la distribución porcentual de las distintas fracciones granulométricas está relacionada a la capacidad de retención e infiltración de agua, y con ello al tamaño de poros, a la capacidad de intercambio catiónico y reguladora de pH (Kloster, 2017). Por ejemplo, los suelos de textura gruesa (arena fina o más grande) se calientan más rápido en primavera. Los suelos con texturas más finas (arcillas) retienen el agua y los nutrientes mejor que las texturas gruesas. Los suelos arenosos suelen tener buena aireación, pero no pueden retener bien el agua. Por lo tanto, tanto el agua como los nutrientes pueden filtrarse fácilmente a través de los mismos. Los suelos arcillosos retienen más agua y nutrientes que la arena, pero presentan poca infiltración y menos oxígeno para la planta debido al menor espacio poroso que los de texturas más gruesas. Los suelos de textura media o franca son los ideales, ya que contienen agua, nutrientes y oxígeno en un equilibrio de arena, arcilla y materia orgánica (NRCS). Entre las texturas de suelo medio se encuentran las siguientes: franca-arenosa, franca-limosa, franca-arcillosa-arenosa y la franca, está última es considerada la textura deseable en el presente caso de análisis (Ciancaglini, s.f.).

### ***Conductividad hidráulica por infiltración***

La conductividad hidráulica se refiere a la propiedad del suelo de permitir el movimiento del agua en su interior. Esta propiedad es mayor en suelos de gran porosidad y aumenta con la conectividad de los poros (arena gruesa, grava y suelos estructurados). El flujo del agua a través de la superficie del suelo se conoce como infiltración. La velocidad de infiltración indica qué tan rápido el agua ingresa en el suelo y se suele medir en milímetros o centímetros por hora. La velocidad de infiltración depende de la textura del suelo (cantidad de arena, limo y arcilla), de la estructura del suelo, de la pendiente del terreno, entre otros. Suelos en buenas condiciones tienen estructuras de agregados con poros conectados que llegan hasta la superficie. Como resultado, el agua de lluvia ingresa prontamente al medio. La importancia de una buena retención reside en el hecho que el suelo sirve de reservorio de agua para el crecimiento de las plantas. Si una textura es muy gruesa, el agua se infiltra rápido, no es retenida y llega al acuífero, por lo cual disminuye la disponibilidad para los vegetales. La recarga del contenido de humedad biodisponible se realiza mediante la infiltración. Asimismo, la infiltración permite la recarga de los acuíferos que a su vez constituyen un recurso de agua dulce subterránea.

Por otro lado, los suelos degradados suelen tener una infiltración reducida, una mayor escorrentía y son más compactos. Una excesiva compactación, una textura arcillosa o bien la falta de poros interconectados impiden o retardan la infiltración y la obligan a trasladarse de manera superficial por escorrentía bajo las pendientes del terreno o bien a estancarse en charcos, donde se evapora. En consecuencia, menos agua es almacenada en el suelo, disponible para ser absorbida por las raíces de las plantas. Esto reduce el crecimiento de las mismas, resultando en menos materia orgánica en el suelo y debilitando su estructura, lo que puede disminuir aún más la tasa de infiltración. A su vez, la escorrentía puede provocar o empeorar la erosión del suelo o la formación de surcos o cárcavas en el terreno. El agua que escurre en forma superficial puede también transportar nutrientes, materia orgánica o contaminantes, que, junto con sedimentos puede impactar en la calidad del agua de los cuerpos superficiales cercanos y reducir la disponibilidad de nutrientes para la vegetación. La escorrentía excesiva puede ocasionar inundaciones aguas abajo, erosionar las riberas de arroyos y dañar los accesos. La confluencia de la escorrentía de pendientes adyacentes puede saturar de agua los suelos en áreas bajas o incluso crear lagunas o charcos que inhiben el crecimiento de plantas terrestres (Moore, 2001), entre otros. Así, niveles moderados de infiltración son los más deseados para favorecer el desarrollo de materia orgánica y promover las condiciones para mejorar la calidad de suelo.

### ***Densidad aparente***

La densidad aparente (DAP) es un parámetro que describe la compactación y porosidad del suelo, y está relacionada con la textura. La densidad aparente tiene como una gran ventaja ser un parámetro de poca variabilidad entre repeticiones (o diferentes determinaciones) y de fácil determinación. Se calcula como el peso seco del suelo dividido por su volumen. Este volumen incluye el volumen de partículas de suelo y el volumen de poros entre las partículas de suelo.

Según la textura del suelo se han establecido valores críticos máximos de DAP por encima de los cuales el crecimiento y oxigenación de las raíces se ve impedido. Así también se presentan valores por debajo de los cuales la densidad favorece el crecimiento (USDA, 2008). Entonces, para favorecer el desarrollo de flora es deseable tener bajos niveles de densidad aparente.

### **pH**

El pH del suelo representa la concentración de iones hidrógeno ( $H^+$ ) de la fase acuosa del suelo, lo cual tiene un efecto marcado sobre la fertilidad del mismo. Es una medida de las propiedades químicas del suelo, ya que si éste es ácido, neutro o básico lo es en función de la solubilidad de sus componentes, de las uniones relativas de los iones en los sitios de intercambio, de la actividad microbiana, del contenido de materia orgánica, de los minerales que lo constituyen, de las condiciones climáticas, ambientales, del manejo del suelo, etc. En función de este pH los suelos pueden clasificarse según distintos grados de acidez, neutralidad o alcalinidad (Soil Survey Division Staff, 1993 citado en Soil Survey Staff, 2009).

La acidificación del suelo constituye un grave problema para el desarrollo vegetal y microbiológico del suelo. La acidez elevada aumenta de la solubilidad del aluminio y del manganeso a niveles que pueden ser tóxicos y además genera cambios en la disponibilidad de varios nutrientes (Moore, 2001). Por otro lado, los suelos alcalinos pueden exacerbar la naturaleza dispersiva de las arcillas (Soil Survey Staff, 2009). En consecuencia, el rango ideal para el desarrollo de la mayoría de los cultivos está en un pH medio neutro (HACH Co., 1993; Ryan et al., 2001 citados en Soil Survey Staff, 2009).

### **Capacidad buffer**

La capacidad buffer o de amortiguación es la capacidad del suelo para resistir los cambios en el pH después de la adición de un ácido o una base. Puede definirse como la tasa de adición de ácido o álcali (por ejemplo, cal) por unidad de cambio en el pH del suelo. Se refiere a las cantidades de iones  $H^+$  presentes en los sitios de intercambio de fracciones de arcilla y materia orgánica de los suelos (Moore, 2001). Esta propiedad aumenta la resiliencia del suelo frente a cambios externos y contribuyen a su estabilidad. Cuanto mayor es la capacidad buffer, más se dice que el suelo podrá amortiguar los cambios en el pH (Carter & Gregorich, 2008).

### **Carbono orgánico total y materia orgánica**

La materia orgánica del suelo está constituida por una larga serie de compuestos carbonados, en diferentes estados de degradación y síntesis, provenientes de restos vegetales, animales y de la propia biota que en el mismo se desarrolla. Como el carbono es el elemento principal presente en la materia orgánica del suelo, su determinación permite estimar el contenido de materia orgánica mediante un factor de conversión (58% del Carbono Orgánico Total es Materia Orgánica). En este trabajo usaremos el Carbono Orgánico Total (COT) como medida representativa del contenido de Materia Orgánica.

La materia orgánica del suelo es un indicador clave de la calidad del suelo, tanto en sus funciones agrícolas como en sus funciones ambientales -entre ellas captura de carbono y calidad del aire. La materia orgánica del suelo es el principal determinante de su actividad biológica. La cantidad, la diversidad y la actividad de la fauna del suelo y de los microorganismos están directamente relacionadas con la materia orgánica. La materia orgánica y la actividad biológica que ésta genera tienen gran influencia sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos (Robert, 1996b citado en FAO, 2002). La agregación y la estabilidad de la estructura del suelo aumentan con el contenido de materia orgánica. Estas a su vez, incrementan la tasa de infiltración y la capacidad de agua disponible en el suelo, así como la resistencia contra la erosión hídrica y eólica. La materia orgánica del suelo también mejora la dinámica y la biodisponibilidad de los principales nutrientes de las plantas (FAO, 2002). La captura de carbono en los suelos agrícolas se contrapone al proceso de desertificación, por medio del papel que juega el incremento de la materia orgánica sobre la estabilidad de la estructura -resistencia a la erosión hídrica y eólica- y a la retención de agua, y al aspecto esencial de la cobertura de la superficie del suelo directamente por las plantas o por los residuos de las plantas -o cobertura muerta- para prevenir la erosión e incrementar la conservación del agua (FAO, 2002). Por último, la materia orgánica, al incrementar la calidad del suelo, también tiene una función protectora al fijar los contaminantes -ya sean orgánicos como los pesticidas o minerales como los metales pesados o el aluminio- los cuales, en general, disminuyen en su toxicidad (FAO, 2002). En consecuencia, un aumento en

la calidad del suelo implicará un aumento del carbono orgánico total (COT) y de la materia orgánica contenida. Así un suelo de mayor calidad, tendrá un valor más alto de COT y, en consecuencia, de materia orgánica.

Por último, es importante mencionar que el cambio climático que atraviesa el mundo hoy en día es producto del incremento de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera derivados de la acción antrópica. Sus efectos negativos (aumento de la temperatura media global, aumento del nivel del mar, aumento de severidad y frecuencia de eventos extremos) ya han comenzado a perjudicar a numerosas comunidades vulnerables (IPCC, 2014). Es así como resulta entonces esencial que sean tomadas medidas para reducir las emisiones de gases de invernadero y para incrementar su captura en los suelos y en la vegetación (FAO, 2002). Una de las estrategias disponibles para mejorar la resiliencia de los agroecosistemas es aumentar las reservas de materia orgánica del suelo (MO), las cuales están relacionadas con efectos significativos directos en sus propiedades y con un impacto positivo sobre las cualidades ambientales o agrícolas y sobre la biodiversidad. Las consecuencias incluirán mayor fertilidad del suelo y mayor productividad de la tierra para la producción de alimentos y la seguridad alimentaria (FAO, 2002 citado en Wilson, 2017) cumpliendo así con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2015).

### **Capacidad de Intercambio Catiónico**

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) mide el total de cationes que se pueden mantener en el complejo de intercambio del suelo. Depende del contenido de arcilla y de la mineralogía de la arcilla presente, ya que el incremento de la fracción de arcillas mejora el proceso de adsorción de cationes que ella realiza. La materia orgánica, en particular las sustancias húmicas, contribuye significativamente a la CIC. La CIC puede medirse directamente determinando la cantidad de cationes intercambiados de la solución de extracción.

La CIC se utiliza como medida de la fertilidad del suelo, de la capacidad de retención de nutrientes y la capacidad de proteger las aguas subterráneas de la contaminación por cationes (FAO, 2019). Los valores altos indican que el suelo tiene buena capacidad para almacenar cationes requeridos para la nutrición de las plantas, mientras que los valores bajos indican una capacidad pobre de almacenaje.

En resumen, en busca de un suelo de calidad que favorezca la retención hídrica y el consecuente desarrollo de microorganismos, flora y fauna, los parámetros bajo consideración deben presentar valores en los rangos descriptos en la Tabla 1 que se presenta a continuación:

*Tabla 1: Clasificación de las propiedades del suelo (elaboración propia en base a Moore, 2001).*

Parámetro	Deseable
Textura	Clase textural: Franca
Conductividad Hidráulica (CH) por Infiltración	Moderada: 0,5-13 cm/h
Densidad Aparente (DAP)	Baja: Menor a 0,9 g/cm <sup>3</sup>
pH	Medio: Entre 6,5 y 7,5 upH
Capacidad buffer	Alta: Mayor a 2 cmol H <sup>+</sup> /kg/pH
Carbono Orgánico Total (COT)	Alto: Mayor a 2 %C
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	Alto: Mayor a 15 cmol/kg

*Fuente: Elaboración propia*

## Metodología

### **Toma de muestras**

Los suelos naturalmente son muy heterogéneos y pueden presentar grandes variabilidades espaciales (horizontal y vertical). Los análisis químicos emplean alícuotas de entre 1 y 10 gramos de muestras de suelo de 500 gramos. Dicha alícuota puede llegar a representar cerca de 2.400.000 kg que hay en una hectárea (teniendo en cuenta los primeros 20 cm de profundidad) (UNT, 2017). Es por ello que la etapa más crítica dentro de una caracterización de suelos suele ser el muestreo ya que en esta etapa se puede introducir el mayor error en los resultados finales ya que si la muestra no es representativa del área de estudio, los resultados de laboratorio tendrán poco valor. Por estas razones, existen consideraciones básicas que deben tenerse en cuenta para efectuar un buen muestreo de suelos (UNT, 2017). Éstas incluyen: la correcta zonificación de la superficie a muestrear, en base a áreas homogéneas en base al tipo de suelo, condiciones topográficas, apreciación visual del color superficial, textura, tipo de vegetación, riesgo de inundación, manejo y grado de intervención (Servicio Agrícola y Ganadero, 2010). Teniendo en cuenta estas consideraciones y bajo especificaciones de los requerimientos establecidos en la solicitud del trabajo realizado por ACUMAR es que se tomaron muestras en distintos puntos de muestreo según se detallan en la Figura 1:

*Figura 1: Ubicación de los puntos de muestreo del predio Batalla de Villamayor.*



*Fuente: Elaboración propia en base a GoogleEarth*

El muestreo fue superficial, en cada punto se tomaron aproximadamente 500 g de suelo de una profundidad de 0 a 12 cm. Cada muestra fue almacenada en una bolsa hermética correctamente identificada con la información del punto de muestreo. Todas las muestras se mantuvieron en heladera refrigerada para su transporte y fueron almacenadas en la cámara de refrigeración a 4°C.

Los distintos puntos de muestreo espacial pueden clasificarse según su objetivo de representación del área de estudio, así tenemos:

- los puntos 1 a 3 al costado del camino, paralela a la línea del talud, que conforman la transecta T1 correspondiente a la zona riparia, con probabilidad de inundación extraordinaria,

- los puntos 4 a 6 paralela a la base del talud de tierra que conforman la transecta T2 correspondiente a la zona de ribera, con probabilidad de inundación ocasional,
- los puntos 7 a 9 en el borde costero, paralela a la línea de costa frente al Arroyo Morales que conforman la transecta T3 correspondiente a la zona de borde, con probabilidad de inundación regular,
- los puntos 10, 13 y 14 en la zona alta del terreno, entre los dos caminos de circulación para vehículos, esta zona corresponde a una zona homogénea con bajo riesgo de inundación por su elevación,
- el punto “cardos” se tomó como representativo del suelo colocado encima del basural pero en una zona no intervenida, para poder comparar los resultados obtenidos de la zona de intervención,
- el punto “Libre” se tomó en un punto lindante al predio entre los puentes existentes. Se lo rotuló como “Libre” ya que se trató de un punto en el que nunca se enterró basura.

La zona de transectas, zona alta y “cardos” tuvieron la intervención correspondiente al tapado del basural con suelo, por lo que no es un suelo autóctono. En el caso de la zona alta y transectas, también tuvieron la intervención con plantas nativas. En el caso de la zona de “cardos”, solamente el tapado con suelo, pero no hubo plantación de nativas. En el caso de la zona libre, no tuvo ni basural ni su correspondiente intervención.

Las muestras simples de las transectas y de la zona alta se analizaron de forma compuesta. En el caso de la zona de cardos y de la zona libre se tomó solamente una muestra en un solo punto.

Se realizaron muestreos durante el mes de diciembre del año 2018 como muestras representativas a tiempo cero (t0), antes que la intervención tuviera efectos sobre el suelo, durante el mes de mayo del año 2019 como primer punto de evolución de características del suelo (t1), durante enero 2020 como segundo punto de evolución del muestreo (t2) y durante diciembre 2020 y febrero 2021 como tercer punto temporal de muestreo (t3).

Es importante aclarar que para que los resultados de monitoreos de suelos sean concluyentes deben realizarse en períodos de tiempo mayores a los 2 años como mínimo. La mayoría de los encuestados en Wilson (2017) en cuanto a los intervalos de muestreo y la periodicidad de evaluación de indicadores como los considerados en este estudio recomiendan intervalos de al menos 2 a 4 años. Con esto en consideración, los primeros puntos de muestreo establecen la línea de base del presente trabajo de monitoreo y a partir del tercer punto temporal de monitoreo (t3) podemos empezar a considerar los resultados como indicativos de la tendencia que se quiere observar.

### **Caracterización de las muestras**

La caracterización del suelo se hizo a través de metodologías de ensayo estandarizadas según el detalle mostrado a continuación en la Tabla 2:

*Tabla 2: Métodos de determinación analítica de parámetros de estudio.*

Parámetro	Metodología de análisis
Tamaño de partícula (para Textura)	Laser diffraction. (Shimadzu® SALD-3101 - Particle size analyser)
Infiltración in situ (para CH)	USDA-NRCS SSM N°51 Method 3.6.1
Densidad aparente (DAP)	ASTM F 1815 – 97
pH	EPA 9045D
Capacidad buffer	Australia Western Agriculture Bulletin No. 4343 - 5.1.2 <sup>a</sup>
Carbono orgánico total (COT)	IRAM 29571-2:2011
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	EPA 9080 – HACH 8155

*Fuente: Elaboración propia*

## Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de cada parámetro para cada muestra analizada a las Transectas, Zona Alta, Cardos y Libre. Se agrega una columna de variación de cada parámetro para aquellos puntos de los que se analizaron dos muestras de distinto tiempo, considerando la variación entre el punto más antiguo disponible y el más nuevo.

Tabla 3: Resultados en tablas

Parámetro	Unidad	Deseable	Transecta 1				Variación	Transecta 2				Variación	Transecta 3				Variación
			T1-t0	T1-t1	T1-t2	T1-t3		T2-t0	T2-t1	T2-t2	T2-t3		T3-t0	T3-t1	T3-t2	T3-t3	
Textura	clase	Franca	Franco limoso	Franco limoso	Limoso	Limoso	-Franco	Franco limoso	Franco limoso	Limoso	Limoso	-Franco	Franco limoso	Franco limoso	Limoso	Limoso	-Franco
CH-Infiltración	cm/h	0.5-13	SD	1,17	0,96	0,46	-61%	SD	1,06	0,93	0,30	-72%	SD	1,67	1,41	0,97	-42%
DAP	g/cm <sup>3</sup>	<0.3	SD	0,91	SD	1,09	19%	SD	0,83	SD	0,93	SD	SD	0,96	SD	0,57	-42%
pH	UpH	6.5-7.5	6,04	7,61	7,31	7,84	-2%	7,33	7,23	8,32	7,98	1%	9,15	8,22	8,24	8,00	-13%
Cap. Buffer	cmol H <sup>+</sup> /kg/pH	>2	1,08	1,29	1,11	1,35	25%	1,39	1,55	0,86	1,41	1%	0,54	1,25	0,97	1,43	164%
COT	%	>2	1,10	1,51	1,17	1,60	46%	1,63	1,37	0,71	1,71	1%	0,12	1,42	0,91	1,75	23%
CIC	cmol/kg	>15	23,03	32,98	23,63	48,74	68%	36,32	37,21	28,78	41,93	15%	47,30	50,37	30,23	53,75	7%

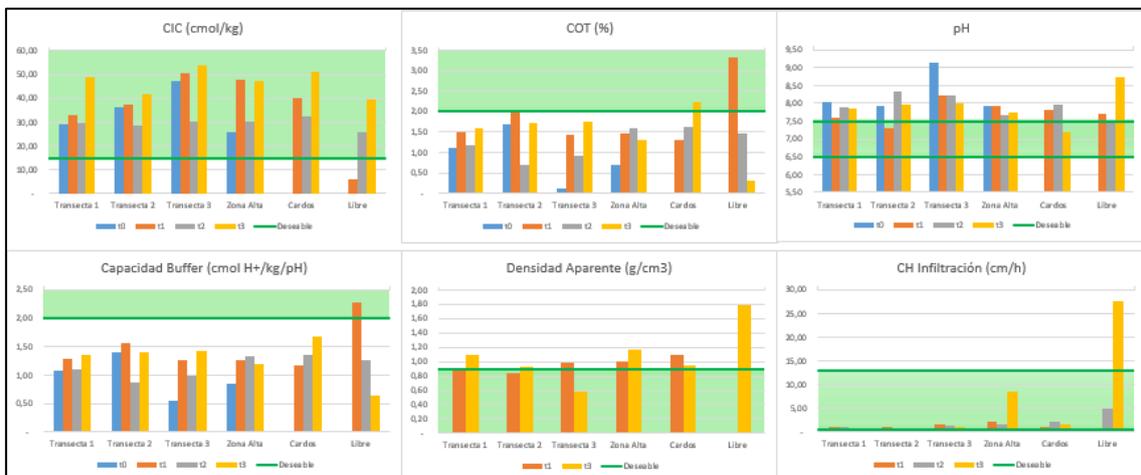
  

Parámetro	Unidad	Deseable	Zona Alta				Variación	Cardos				Variación	Libre				Variación
			ZA-t0	ZA-t1	ZA-t2	ZA bis-t3		Cardos-t1	Cardos-t2	Cardos-t3	Libre-t1		Libre-t2	Libre-t3			
Textura	clase	Franca	Franco limoso	Franco limoso	Limoso	Limoso	-Franco	Franco limoso	Limoso	Limoso	-Franco	Limoso	Limoso	Limoso	+		
CH-Infiltración	cm/h	0.5-13	SD	2,06	1,60	8,57	316%	1,11	2,26	1,53	38%	SD	4,96	27,64	457%		
DAP	g/cm <sup>3</sup>	<0.3	SD	1,01	SD	1,17	16%	1,09	SD	0,94	-13%	SD	SD	1,80	ND		
pH	UpH	6.5-7.5	7,32	7,91	7,69	7,73	-2%	7,80	7,97	7,20	-8%	7,71	7,52	8,74	13%		
Cap. Buffer	cmol H <sup>+</sup> /kg/pH	>2	0,85	1,27	1,33	1,18	39%	1,18	1,36	1,68	42%	2,28	1,27	0,65	-72%		
COT	%	>2	0,68	1,46	1,58	1,31	92%	1,30	1,62	2,22	71%	3,53	1,47	0,31	-91%		
CIC	cmol/kg	>15	25,54	47,88	30,21	47,04	84%	40,06	32,55	51,28	28%	5,78	25,51	39,84	588%		

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros que no pudieron determinarse para algunos tiempos se identificaron con las letras SD, en referencia a Sin Datos. La ausencia de datos en estos puntos se corresponde con distintas situaciones, p.ej., puntos de muestreo espacial o parámetros que no estaban definidos al comienzo del trabajo y fueron agregadas en campañas posteriores, impedimentos para muestrear durante las restricciones impuestas debido a la pandemia de COVID-19.

Figura 2: Resultados en gráficos



Fuente: Elaboración propia

## Discusión

A continuación, se analizarán los resultados obtenidos en cada uno de los parámetros para las muestras tomadas del suelo agregado para tapar el exbasural a cielo abierto y la zona adyacente al mismo en el predio paseo “Batalla de Villamayor” en la Cuenca del Arroyo Morales en Marcos Paz, provincia de Buenos Aires.

En el caso de la **textura**, salvo la zona Libre que mantiene sus características limosas, en todos los demás casos hubo una tendencia a disminuir sus características de suelo franco predominando las características limosas en la tendencia. Es interesante identificar que el suelo agregado caracterizado a tiempo cero ( $t_0$ ) era franco limoso y que la zona Libre (sin intervención, ni basural original) era y se mantiene como limosa.

Al analizar la **conductividad hidráulica por infiltración**, casi todos los puntos temporales y espaciales tomados están dentro de lo deseable. Se observa que la zona libre, cardos y zona alta tienen comportamientos variables que o bien no cuentan con suficientes puntos para establecer una tendencia o la misma no es concluyente con los datos disponibles. Las transectas 1, 2 y 3 parecen mostrar una tendencia a empeorar su capacidad hidráulica de infiltración, aunque las variaciones son pequeñas. Más puntos de análisis en el tiempo se requieren para concluir sobre la tendencia en todos los casos.

En el caso de la **densidad aparente** todos los puntos, salvo el último valor para la transecta 3, están fuera de lo deseable. Se observa que los puntos tomados en casi todos los casos, salvo la medición para la zona Libre, están cerca del valor máximo para entrar en el rango deseable. En todos los casos no hay suficientes datos para identificar una tendencia.

El **pH** no se encuentra en el rango deseable en todos los casos, salvo en el último punto temporal para cardos. En casi todos los casos se ve una tendencia a la mejora en el tiempo acercándose hacia el rango deseable, salvo en el caso de la zona libre que empeoró el valor en la última medición y el caso de la transecta 2 que parece mantenerse estable, aunque con variaciones.

La **capacidad buffer** no se encuentra en el rango deseable en ningún caso para las últimas mediciones. En cuanto a la tendencia, parece haber una tendencia de mejora salvo en la zona Libre que estaría empeorando y en la transecta 2 que parece estar estable, aunque con variaciones.

El **carbono orgánico total** no se encuentra en el rango deseable salvo para la primera medición de la zona libre y la última de cardos. Parece haber una tendencia de mejora excepto en la zona Libre que estaría empeorando y en la transecta 2 que parece estar estable, con variaciones.

En el caso de la **Capacidad de Intercambio Catiónico** casi todos los valores están dentro de lo deseable y parece haber una tendencia a la mejora en todas las zonas relevadas.

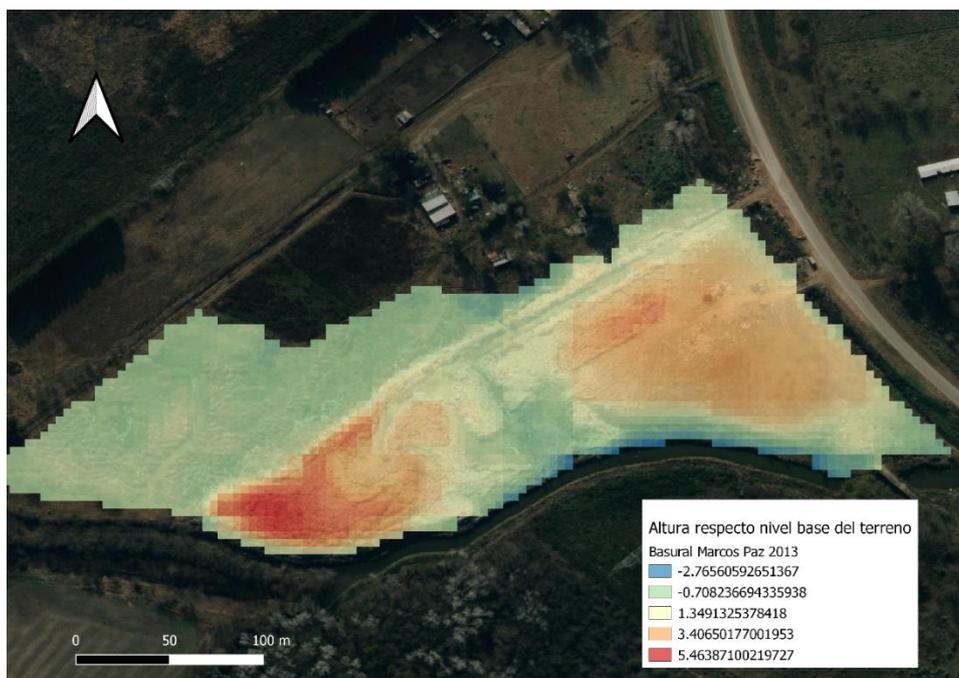
Es llamativa la gran variación de comportamiento en todos los parámetros para el caso de la zona Libre que requiere de mayor cantidad de puntos de análisis y de observaciones para poder identificar la tendencia. Por otro lado, el caso de la zona Alta que tiene mucha menos vegetación y fue donde había gran proporción de residuos cuando estaba el basural (ver Figura 3) no presenta valores significativamente peores que en el caso de las transectas o cardos que no tuvieron tanta presencia de residuos durante la operación del basural.

Al observar el área intervenida durante los relevamientos se nota una mejora en todas las zonas, con gran presencia en cantidad y variedad de flora y fauna. Estas tendencias de mejora se empiezan a ver en los resultados para las distintas zonas, aunque resultados concluyentes empezaremos a obtener a partir de los próximos relevamientos. De cualquier manera, siempre es relevante mencionar que el muestreo de suelos implica la toma de muestras con características muy heterogéneas por lo que la observación de tendencias claras puede llegar a requerir más tiempo que en otras matrices.

Para poder mejorar los análisis realizados recomendamos que las futuras campañas de relevamiento incorporen los siguientes ajustes. En principio, realizar los relevamientos con una

periodicidad de muestreos anual, debido a que los procesos de evolución de suelos son muy lentos. Además, se recomienda que se realicen cuando el clima es más estable, fuera de períodos de lluvia, por lo que futuras campañas se podrían realizar anualmente en el periodo de verano. En segundo lugar, aumentar la cantidad de muestras por punto a tres en todos los casos. Para una mayor representatividad en los parámetros obtenidos por parte de los ensayos es preferible que todos los puntos a analizar sean de muestras compuestas. Para los puntos de cardos y libres se deberían tomar 3 muestras debidamente ubicadas espacialmente y separadas entre sí. Esto debe hacerse tanto para los ensayos físico-químicos, componiendo las distintas muestras en laboratorio, así como para los ensayos en campo, promediando los valores obtenidos en cada punto. Por último, teniendo en cuenta el buen desempeño observado en los indicadores del punto cardos sería interesante incluir un nuevo punto de muestreo en la zona más alejada del predio. Particularmente teniendo en cuenta dónde se ubicaban los residuos en el basural a cielo abierto, se asume que podría existir una relación entre la poca cantidad de residuos en donde se localizó posteriormente cardos y el buen desarrollo del suelo y de la vegetación que tuvo. El nuevo punto podría ubicarse en la zona donde se observaban las mayores alturas (zona de rojo intenso en Figura 3) y servir como punto de comparación con la actual "zona alta".

*Figura 3: Altura del terreno en el predio de Marcos Paz en el año 2013 (último año operativo), previo a intervención*



*Fuente: Elaboración propia en base a QGIS*

Figura 4: Imágenes tomadas en los muestreos de diciembre 2020 y febrero 2021



Fuente: Elaboración propia

## Bibliografía

- ACUMAR. (06 de Junio de 2018). *Cerramos el basural de Marcos Paz*. Obtenido de ACUMAR Prensa: <http://www.acumar.gov.ar/prensa/cerramos-basural-marcos-paz/>
- ACUMAR. (14 de Febrero de 2019). *Se consolidan las acciones de restauración ecológica en el exbasural de Marcos Paz*. Obtenido de ACUMAR Prensa: <http://www.acumar.gov.ar/prensa/se-consolidan-las-acciones-restauracion-ecologica-exbasural-marcos-paz/>
- Carter, M. R., & Gregorich, E. G. (2008). *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Second edition. Canadian Society of Soil Science.
- Ciancaglini, N. (s.f.). *Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico*. San Juan: PROSAP.
- DEIAS - ACUMAR. (2019). *Intervenciones DEIAS: Proyecto Recomposición Ambiental a través de Biocorredores*. Buenos Aires: ACUMAR.
- FAO. (2002). *Informe sobre recursos mundiales de suelos. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra*. Roma: FAO.
- FAO. (2019). *Chemical Properties*. Obtenido de FAO Soil Portal: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-classification/numerical-systems/chemical-properties/en/>
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014. Synthesis Report: Summary for Policymakers*. IPCC. Obtenido de [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf)
- Kloster, N. (2017). *Métodos de análisis e implementación de Calidad en el Laboratorio de Suelos*. Anguil: Ediciones INTA.
- Moore, G. (2001). *Soil Guide - A handbook for understanding and managing agricultural soils*. Perth: Agriculture Western Australia Bulletin No. 4343.
- NRCS. (s.f.). *Soil Textural Triangle KEY - NRCS*. Obtenido de National Resource Conservation Service: [https://www.nrcs.usda.gov/wps/PA\\_NRCSCconsumption/download?cid=nrcseprd1206814&ext=docx](https://www.nrcs.usda.gov/wps/PA_NRCSCconsumption/download?cid=nrcseprd1206814&ext=docx)
- ONU. (2015). *Objetivos de Desarrollo*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Servicio Agrícola y Ganadero. (2010). *Protocolo de toma de muestras de suelos*. Santiago de Chile: Gobierno de Chile. Obtenido de <https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/Protocolo%20toma%20muestras%20suelo.pdf>
- Soil Survey Staff. (2009). *Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 51, Version 1.0*. Lincoln: U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- UNT. (2017). *Guía de estudio: Análisis de suelos*. Universidad Nacional de Tucumán.
- USDA. (2008). *Soil Quality Physical Indicator Information Sheet Series. Bulk density*. USDA.
- Wentworth, C. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30, 377-392. Obtenido de <https://pubs.usgs.gov/of/2006/1195/html/docs/images/chart.pdf>
- Wilson, M. G. (2017). *Manual de indicadores de la calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina*. Entre Ríos: Ediciones INTA.

**Anexo – Cuadro de resultados**

Parámetro	Unidad	Deseable	Transecta 1			Transecta 2			Transecta 3			Variación						
			T1-0	T1-1	T1-2	T1-3	Variación	T2-0	T2-1	T2-2	T2-3		Variación	T3-0	T3-1	T3-2	T3-3	Variación
Textura	clase	Franca																
CH-Infiltración	cm/h	0,5-13	SD	1,17	0,96	0,46	0,33	-61%	SD	1,06	0,33	0,30	-72%	SD	1,67	1,41	0,97	-42%
DAP	g/cm <sup>3</sup>	<0,9	SD	0,91	SD	1,09	19%	SD	0,83	SD	0,93	12%	SD	0,98	SD	0,57	SD	-41%
pH	U <sub>pH</sub>	6,5-7,5	8,04	7,61	7,91	7,84	-2%	7,93	7,29	8,32	7,98	1%	9,15	8,22	8,24	8,00	-13%	
Cap. Buffer	cmolH <sup>+</sup> /kgpH	>2	1,08	1,29	1,11	1,35	25%	1,39	1,55	0,86	1,41	1%	0,54	1,25	0,97	1,43	164%	
COT	%	>2	1,10	1,51	1,17	1,60	46%	1,69	1,97	0,71	1,71	1%	0,12	1,42	0,91	1,75	23%	
CIC	cmol/kg	>15	29,03	32,98	29,63	48,74	68%	36,32	37,21	28,78	41,93	15%	47,30	50,37	30,23	53,75	7%	

Parámetro	Unidad	Deseable	Zona Alta			Cardos			Libre			Variación						
			ZA-0	ZA-1	ZA-2	ZA bis -13	Variación	Cardos -1	Cardos -2	Cardos -3	Variación		Libre -1	Libre -2	Libre -3	Variación		
Textura	clase	Franca																
CH-Infiltración	cm/h	0,5-13	SD	2,06	1,60	8,57	316%	1,11	2,26	1,53	38%	SD	4,96	27,64	457%			
DAP	g/cm <sup>3</sup>	<0,9	SD	1,01	SD	1,17	16%	1,09	SD	0,94	-13%	SD	SD	1,80	ND			
pH	U <sub>pH</sub>	6,5-7,5	7,32	7,91	7,69	7,73	-2%	7,80	7,97	7,20	-8%	7,71	7,52	8,74	13%			
Cap. Buffer	cmolH <sup>+</sup> /kgpH	>2	0,85	1,27	1,33	1,18	39%	1,18	1,36	1,68	42%	2,28	1,27	0,65	-72%			
COT	%	>2	0,88	1,46	1,58	1,31	92%	1,30	1,62	2,22	71%	3,33	1,47	0,31	-91%			
CIC	cmol/kg	>15	25,54	47,88	30,21	47,04	84%	40,06	32,55	51,28	28%	5,76	25,51	39,64	588%			