



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR**

**TESIS DOCTOR EN AGRONOMIA**

**“CARACTERIZACIÓN DE LAS FORMAS DE FÓSFORO Y DE LOS  
PROCESOS QUE AFECTAN SU DISPONIBILIDAD EN SUELOS DE  
DIFERENTES GEOFORMAS EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA CENTRAL”**

**Ing. Agr. María Lucila Alvarez**

**BAHÍA BLANCA**

**ARGENTINA**

**Año 2021**

## **PREFACIO**

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctor en Agronomía, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito del Departamento de Agronomía durante el período comprendido entre el 8 de septiembre de 2015 y el 25 de Septiembre de 2020, bajo la dirección de la Doctora Elke Noellemeyer<sup>1</sup> y la Doctora Nilda Amiotti<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Cátedra de Edafología y Manejo de Suelos. Facultad de Agronomía UNLPam.

<sup>2</sup>Profesora Extraordinaria Consulta de Génesis y Clasificación de Suelos y Edafología. Departamento Agronomía UNS.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR  
Secretaría General de Posgrado y  
Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el 28/06/2021 , mereciendo la calificación de sobresaliente diez (10).

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mi directora Elke Noellemeyer y a mi co-directora Nilda Amiotti.*

*Al Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur.*

*A la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa.*

*Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).*

## Resumen

El objetivo de la tesis fue comprender los factores y procesos que afectan la variabilidad espacial de la disponibilidad de P en perfiles de suelo de la Región Semiárida Central, con la finalidad de adaptar el manejo de la fertilidad fosforada a las características de los suelos para mejorar la eficiencia en el uso del fertilizante. Se definieron cuatro toposecuencias en las principales subregiones agrícolas de la provincia de La Pampa, Planicie medanosa (PM) y Planicie con tosca (PT), con un suelo bajo uso agrícola y otro bajo vegetación natural en potreros lindantes en cada una, tres posiciones topográficas: loma, media loma y bajo y tres profundidades de muestreo: 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm. Se determinó carbono orgánico (COT), carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), calcio (Ca), sodio (Na), potasio (K), magnesio (Mg), hierro (Fe), aluminio (Al), hierro ocluído ( $\text{Fe}_o$ ) y aluminio ocluído ( $\text{Al}_o$ ) capacidad de intercambio catiónico (CIC), textura y pH y la relación  $\text{Ca}:\text{Fe}+\text{Al}$ . Se determinaron las fracciones de P través del método de fraccionamiento secuencial propuesto por Hedley y Stewart (1982) modificado por Tiessen y Moir (2006): P-solución, P inorgánico y orgánico lábil (Pt lábil:  $\text{Pi lábil}+\text{Po lábil}$ ), P inorgánico y orgánico ligado a Fe y Al (Pt-Fe/Al:  $\text{Pi-Fe/Al}+\text{Po-Fe/Al}$ ), P-Ca, P inorgánico y orgánico estable (Pt estable:  $\text{Pi estable}+\text{Po estable}$ ) y P total (Pt). En PT se hallaron contenidos más altos de Ca,  $\text{Ca}:\text{Fe}+\text{Al}$  y  $\text{CaCO}_3$ . En ambos sitios la fracción más importante fue P-Ca, mientras que el P-solución fue la fracción menor, sin embargo, se observaron diferencias entre PT y PM. El alto valor de P-Ca en PT estuvo explicado por el mayor contenido de Ca y  $\text{CaCO}_3$  respecto a PM, mientras que el mayor contenido de P-Fe/Al en PM estuvo explicado por menor contenido de Ca y mayor de Fe y Al en dicho sitio. Las formas de P de mayor disponibilidad se encontraron en mayor proporción en PM, indicando que los procesos de fijación de P se darían con menor intensidad. Las formas orgánicas representaron aproximadamente un 20% del P total en ambas subregiones, y en PT se observó

menor proporción de Po lábil y mayor proporción de Po estable. En PT las diferencias en la topografía estuvieron dadas principalmente por la escasa profundidad del calcrete en la loma y media loma donde se vio afectada la disponibilidad de P, y un perfil más profundo en el bajo con mayor disponibilidad. En PM el bajo se encontraba influenciado por el nivel freático alcalino, mostrando mayor disponibilidad de P mientras que la loma presentó un pH ácido, con un contenido más alto de Pt-Fe/Al y menor P disponible. El efecto de la profundidad sobre las formas de mayor disponibilidad de P fue similar en ambas subregiones, ya que la disponibilidad de P se encuentra asociada a la materia orgánica. En PT el P-Ca aumentó en profundidad relacionado con la cercanía del calcrete. El uso agrícola provocó en PT una disminución de las formas más lábiles y un incremento del Pi estable. En PM el Pt lábil fue mayor en el suelo natural, al igual que el Po-Fe/Al, mientras que en el suelo agrícola se observaron contenidos más altos de P-solución y P-Ca. Para evaluar el comportamiento del polifosfato líquido (PL) respecto al superfosfato triple de Ca granulado (SPT) se tomaron muestras de 0-20 cm de estos mismos suelos (PM y PT) bajo uso agrícola en loma, media loma y bajo. Se llevaron a cabo ensayos de incubación en cajas de Petri donde se midió el P extraíble a distintas distancias del punto de aplicación y se calculó la eficiencia de recuperación (ER) en cada caso. En general la ER fue similar en ambos sitios (29% PM; 31% PT). Los factores y procesos que limitaron la disponibilidad del fertilizante en cada subregión fueron distintos. En PM no se hallaron diferencias claras entre fertilizantes, pero se observó un importante efecto de la topografía sobre la disponibilidad de P, la cual se vio afectada principalmente en la loma asociado al pH ácido y al mayor contenido de Fe y Al respecto a la media loma y el bajo, donde la disponibilidad de P no estuvo limitada. En PT la variación espacial fue menor y la principal limitación fue el contenido de Ca

en la loma donde la disponibilidad de P mejoró al aplicar PL en lugar de SPT, mientras que el carbono orgánico favoreció la disponibilidad de P- fertilizante en el bajo donde no hubo diferencias entre fuentes. Se realizaron ensayos en macetas con trigo (*Triticum aestivum* L.) en invernáculo con suelo bajo uso agrícola de 0-20 cm de loma, media loma y bajo del sitio de PT, para evaluar la eficiencia de uso de PL y SPT bajo una condición óptima de humedad (H1) y una restrictiva (H2). En H1, SPT y PL presentaron mayor producción de MS que el testigo (T) en loma y media loma y en el bajo no hubo diferencias entre T, SPT y PL al igual que en H2. Según la relación N:P (Nitrógeno:Fósforo) en el tejido vegetal, las deficiencias más importantes de P se dieron en T y SPT de H2, los cuales tuvieron menor MS mientras que PL tuvo un mejor comportamiento indicando una mejor eficiencia de uso cuando se aplicó esta formulación. La geomorfología de la región fue uno de los principales factores que afectó la dinámica del P originando las diferencias observadas entre PM y PT, sumado a la incidencia del régimen de humedad del suelo el cual varió de ústico en PT a údico y ácuico en PM. La topografía también fue un factor importante y su efecto fue distinto según el sitio, así como también la profundidad del suelo tuvo un efecto sobre el P. El conocimiento de los factores y procesos que afectan la disponibilidad de P y el manejo racional de la fertilización conducen a un uso más eficiente del recurso y a la sustentabilidad del sistema.

## **Abstract**

The objective of the thesis was to understand the factors and processes that affect the spatial variability of P availability in soil profiles of the Central Semiarid Region, in order to adapt the management of phosphorous fertility to the characteristics of the soils and improve the efficiency in the fertilizer use. Four toposequences were defined in the main agricultural subregions of the province of La Pampa, Sandy Plain (PM) and

Caliche Plain (PT), with a soil under agricultural use and another under natural vegetation in neighboring fields, three topographic positions : topslope, midslope and footslope, and three sampling depths: 0-20 cm, 20-40 cm and 40-60 cm. Organic carbon (TOC), calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ), calcium (Ca), sodium (Na), potassium (K), magnesium (Mg), iron (Fe), aluminum (Al), occluded iron (Feo) and aluminum (Alo), cation exchange capacity (CEC), texture and pH and the Ca: Fe + Al ratio were determined. The P fractions were determined through the sequential fractionation method proposed by Hedley and Stewart (1982) modified by Tiessen and Moir (2006): P-solution, inorganic and organic labile P (labile Pt: labile Pi + labile Po), P inorganic and organic bound to Fe and Al (Pt-Fe / Al: Pi-Fe / Al + Po-Fe / Al), P-Ca, inorganic and stable organic P (stable Pt: stable Pi + stable Po) and total P (Pt). Higher contents of Ca, Ca: Fe + Al and  $\text{CaCO}_3$  were found in PT. In both sites, the most important fraction was P-Ca, while P-solution was the smallest fraction, however, differences were observed between PT and PM. The high value of P-Ca in PT was explained by the higher content of Ca and  $\text{CaCO}_3$  compared to PM, while the higher content of P-Fe / Al in PM was explained by its lower content of Ca and higher content of Fe and Al. The forms of P with greater availability were found in greater proportion in PM, indicating that the P fixation processes would occur with less intensity. The organic forms represented approximately 20% of the total P in both subregions, and in PT a lower proportion of labile Po and a greater proportion of stable Po were observed. In PT, the differences in topography were mainly due to the shallow soil depth to the calcrete at the topslope and midslope where the availability of P was affected, and a deeper profile in the footslope with higher P availability. In PM, the footslope was influenced by an alkaline water table, showing greater availability of P, while the topslope had an acid pH, with a higher content of Pt-Fe / Al and less available P. The

effect of depth on more available P fractions was similar in both subregions since P availability is associated with organic matter. In PT the P-Ca increased in depth related to the proximity of the calcrete. Agricultural use caused in PT a decrease in the most labile forms and an increase in stable Pi. In PM, labile Pt was higher in natural soil, as was Po-Fe / Al, while higher contents of P-solution and P-Ca were observed in agricultural soil. To evaluate the behavior of liquid polyphosphate (PL) compared to granulated Ca triple superphosphate (SPT), samples of 0-20 cm were taken from these same soils (PM and PT) under agricultural use in top, mid and footslope. Incubation tests were carried out in Petri dishes where the extractable P was measured at different distances from the application point and the recovery efficiency (ER) was calculated in each case. In general, ER was similar in both sites (29% PM; 31% PT). The factors and processes that limited the availability of the fertilizer in each subregion were different. In PM, no clear differences were found between fertilizers, but an important effect of the topography on the availability of P was observed, which was affected mainly in the topslope associated with the acidic pH and the higher content of Fe and Al with respect to the midslope and footslope, where the availability of P was not limited. In PT the spatial variation was less marked, and the main limitation was the Ca content in the topslope where the availability of P improved when applying PL instead of SPT, while the higher organic carbon content favored the availability of P-fertilizer in the footslope where no differences between sources were found. Trials were carried out in pots with wheat (*Triticum aestivum* L.) in a greenhouse with soil under agricultural use of 0-20 cm depth of top, mid and footslope of the PT site, to evaluate the efficiency of use of PL and SPT under a optimum humidity condition (H1) and a restrictive one (H2). In H1, SPT and PL presented higher DM production than the control (T) in the top and midslope, and in the footslope there were no differences



between T, SPT and PL as in H2. According to the N: P (Nitrogen: Phosphorus) ratio in the plant tissue, the most important deficiencies of P were in T and SPT of H2, which had lower DM, while PL showed a better performance indicating an improved use efficiency when this formulation was applied. The geomorphology of the region was one of the main factors that affected the P dynamics causing differences between PM and PT, additionally acted the incidence of the soil moisture regime, which varied from ustic in PT to udic and aquic in PM. The topography, as well as the depth of the soil were important factors that affected P fractions, and their effect was different depending on the site. Knowledge of the factors and processes that affect the availability of P facilitate the rational management of fertilization and lead to a more efficient resource use and improve the sustainability of the system.