



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Geología
Trabajo de Grado

**EFEECTO DE DIFERENTES DOSIS DE MATERIAL CALCÁREO
SOBRE EL pH Y ACIDEZ INTERCAMBIABLE EN SUELOS
ACIDOS DE TEXTURA ARCILLOSA Y ARENOSA EN LOS
DISTRITOS DE HERNANDARIAS Y NUEVA ITALIA**

GUSTAVO ARIEL PERALTA MORENO

Trabajo de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del Grado de
Licenciado en Ciencias-Mención Geología

SAN LORENZO – PARAGUAY
DICIEMBRE – 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

Trabajo de Grado

**EFEECTO DE DIFERENTES DOSIS DE MATERIAL CALCÁREO
SOBRE EL pH Y ACIDEZ INTERCAMBIABLE EN SUELOS
ACIDOS DE TEXTURA ARCILLOSA Y ARENOSA EN LOS
DISTRITOS DE HERNANDARIAS Y NUEVA ITALIA**

GUSTAVO ARIEL PERALTA MORENO

Orientadora: **Prof. Dra. ANA MARÍA CASTILLO CLERICI**

Co-Orientador: **Prof. MSc. HIGINIO MORENO RESQUÍN**

Trabajo de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención de la
Licenciatura en Ciencias Mención Geología

SAN LORENZO – PARAGUAY
DICIEMBRE 2019

**EFFECTO DE DIFERENTES DOSIS DE MATERIAL CALCÁREO SOBRE
EL pH Y ACIDEZ INTERCAMBIABLE EN SUELOS ACIDOS DE
TEXTURA ARCILLOSA Y ARENOSA EN LOS DISTRITOS DE
HERNANDARIAS Y NUEVA ITALIA**

GUSTAVO ARIEL PERALTA MORENO

Trabajo de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención de la
Licenciatura Ciencias Mención Geología.

Fecha de aprobación: 26 de diciembre de 2019.

COMITÉ ASESOR DE TRABAJO DE GRADO

MIEMBROS:

Prof. Dra. Ana María Castillo Clerici

Universidad Nacional de Asunción.

Prof. MSc. Higinio Moreno Resquín

Universidad Nacional de Asunción.

Prof. MSc. Sonia Mabel Molinas Ruiz Díaz

Universidad Nacional de Asunción.

Aprobado por la Coordinación de Postgrado e Investigación del Departamento de
Geología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de
Asunción, en fecha.....de.....de 2019.

.....
Prof. MSc. Sonia Mabel Molinas Ruiz Díaz
Director de Postgrado e Investigación, FACEN – UNA

DEDICATORIA

A mis Padres Juana Beatriz y Gundrano⁺

A mis hermanos Eduardo y Guadalupe

A mis Tíos y Abuela

AGRADECIMIENTOS

A Dios y la Virgencita de Caacupé, por ser mi compañía y fortaleza en los momentos de debilidad.

A mi madre Juana Beatriz, a mis tíos Higinio Moreno, Bernarda Fernández, Sergio Moreno por el apoyo incondicional e incansable durante este proceso, a mi familia quienes depositaron en mí la confianza necesaria para continuar y culminar mis estudios universitarios.

A la Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de suelos por los análisis realizados.

Mis agradecimientos especiales van dirigidos para el Prof. MSc. Higinio Moreno Resquin por sus valiosas orientaciones, tiempo, ayuda para la elaboración de este trabajo, por el apoyo incondicional para llegar al objetivo, a la Prof. Dra. Ana María Valentina Castillo Clerici y a la Prof. MSc. Sonia Molinas, por sus valiosas orientaciones y buena predisposición para la elaboración y corrección de este trabajo.

A la Lic. Adriana García, a los compañeros y amigos de la carrera de geología por el apoyo a lo largo de este proceso.

Al estudiante de la carrera de Agronomía Orientación Suelos Higinio Eduardo Moreno Fernández por la elaboración de los mapas requeridos para esta investigación.

A cada uno de los profesores del departamento de geología quienes fueron partícipes de mi proceso de formación.

EFFECTO DE DIFERENTES DOSIS DE MATERIAL CALCÁREO SOBRE EL pH Y ACIDEZ INTERCAMBIABLE EN SUELOS ACIDOS DE TEXTURA ARCILLOSA Y ARENOSA EN LOS DISTRITOS DE HERNANDARIAS Y NUEVA ITALIA

Author: GUSTAVO ARIEL PERALTA MORENO
Counselor: Prof. Dra. ANA MARÍA CASTILLO CLERICI
Co-Counselor: Prof. MSc. HIGINIO MORENO RESQUÍN

RESUMEN

La acidez del suelo constituye uno de los principales problemas en la Región Oriental del Paraguay, siendo que los suelos de la misma, son por lo general de tendencia acida a extremadamente acida. En esta investigación se evaluó el efecto de las diferentes dosis de cal agrícola sobre el pH y la acidez intercambiable ($Al^{+3} + H^{+}$), en suelo de textura arenosa Utisol del distrito de Nueva Italia del Departamento Central y suelo de textura arcillosa Oxisol del distrito de Hernandarias del Departamento Alto Paraná. Los encalantes utilizados fueron la caliza ($CaCO_3$), dolomita $CaMg (CO_3)_2$ y Marga ($CaCO_3$) impuro. Los tratamientos empleados fueron el testigo, 500, 1000, 2500, 4000 y 6000 $kg \cdot ha^{-1}$ de los distintos materiales encalantes utilizados, con tres repeticiones cada una, que posteriormente fueron incubados por sesenta días en frascos de 500ml con 219 g de suelo. Los resultados de pH obtenidos por las diferentes cales en el distrito de Nueva Italia que con la utilización de la cal agrícola del tipo Marga existen diferencias estadísticas significativas para todas la dosis creadas, en donde se obtuvo un resultado favorable con los suelos de textura arenosa, este con una adición de 2500 $kg \cdot ha^{-1}$ de Marga aumenta el pH y la acidez intercambiable ($Al^{+3} + H^{+}$) decrece y es neutralizada en su totalidad, lo mismo ocurre con la adición de cal agrícola del tipo dolomita y caliza que con una adición de 2500 $kg \cdot ha^{-1}$, aumenta el pH y la acidez intercambiable es neutralizada en su totalidad. En cuanto a los resultados obtenidos para el distrito de Hernandarias demuestran que con la utilización de la cal agrícola del tipo dolomita, existen una diferencia estadística significativa para todas las dosis creadas, se obtuvo una respuesta favorable, donde con una adición de 4000 $kg \cdot ha^{-1}$ $CaMg (CO_3)_2$ el pH aumenta de extremadamente acido a moderadamente ácido, y la acidez intercambiable ($Al^{+3} + H^{+}$) decrece y es neutralizada en su totalidad. La efectividad de neutralización aumenta con la aplicación de la cal agrícola del tipo caliza que con una adición de 2500 $kg \cdot ha^{-1}$ ($CaCO_3$), no existen diferentes estadística a partir de esta dosis el pH del suelo de 4,28 aumenta a 5,64 y la acidez intercambiable ($Al^{+3} + H^{+}$) decrece y es neutralizada en su totalidad. En las condiciones del presente experimento se puede concluir que con la adición de los tres tipos de cal agrícola se logró neutralizar la acidez intercambiable y se elevó el pH del suelo a niveles óptimos, partir de una adición 2500 $kg \cdot ha^{-1}$, con excepción de la marga en suelo textura arcillosa donde no mostro una diferencia significativa, la cal más efectiva entre las tres mencionadas es la caliza para ambas texturas de suelo.

Palabras Claves: Acidez intercambiable, Cal agrícola, Optimo, Hernandarias, Nueva Italia, Marga, Caliza, Dolomita.

EFFECT OF DIFFERENT DOSES OF CALCÁREO MATERIAL ON THE pH AND INTERCHANGEABLE ACIDITY IN ACID FLOORS OF ARCILLOSA AND ARENOSA TEXTURE IN THE DISTRICTS OF HERNANDARIAS AND NEW ITALY

Author: GUSTAVO ARIEL PERALTA MORENO
Counselor: Prof. Dra. ANA MARÍA CASTILLO CLERICI
Co-Counselor: Prof. MSc. HIGINIO MORENO RESQUÍN

SUMARY

The acidity of the soil constitutes one of the main problems in the Eastern Region of Paraguay, being that the soils of the same, are generally of acid tendency to extremely acid. In this investigation the effect of the different doses of agricultural lime on the pH and the interchangeable acidity ($Al^{+3} + H^{+}$), in sandy soil texture. Utisol was evaluated. from the New Italy district of the Central Department and Oxisol clay-textured soil from the Hernandarias district of the Alto Paraná Department. The encalates used were limestone ($CaCO_3$), dolomite $CaMg(CO_3)_2$ and Marga ($CaCO_3$) impure. The treatments used were the control, 500, 1000, 2500.4000 and 6000 $kg.ha^{-1}$ of the different lightening materials used, with three repetitions each, which were subsequently incubated for sixty days in 500ml bottles with 219 g of soil . The pH results obtained by the different limes in the district of Nueva Italia that with the use of marl type lime there are significant statistical differences for all the doses created, where a favorable result was obtained with the soils of sandy texture, this with an addition of 2500 $kg.ha^{-1}$ of marl increases the pH and the exchangeable acidity ($Al^{+3} + H^{+}$) decreases and is completely neutralized, the same happens with the addition of agricultural lime of the dolomite and limestone type that With an addition of 2500 $kg.ha^{-1}$, the pH increases and the exchangeable acidity is completely neutralized. Regarding the results obtained for the district of Hernandarias, they demonstrate that with the use of agricultural lime of the Dolomite type, there is a significant statistical difference for all the doses created, a favorable response was obtained, where with an addition of 4000 $kg.ha^{-1}$ $CaMg(CO_3)_2$ The pH increases from extremely acidic to moderately acidic, and the exchangeable acidity ($Al^{+3} + H^{+}$) decreases and is completely neutralized. The effectiveness of neutralization increases with the application of the lime-type agricultural lime that, with an addition of 2500 $kg.ha^{-1}$ ($CaCO_3$), there are no different statistics from this dose, the soil pH of 4.28 increases to 5, 64 and the exchangeable acidity ($Al^{+3} + H^{+}$) decreases and is completely neutralized. Under the conditions of the present experiment it can be concluded that with the addition of the three types of agricultural lime it was possible to neutralize the exchangeable acidity and raised the pH of the soil to optimal levels, starting from an addition 2500 $kg.ha^{-1}$, with the exception of the loam in clayey soil texture where it did not show a significant difference, The most effective lime among the three mentioned is the limestone for both textures of soil.

Keywords: Exchangeable acidity, Agricultural lime, Optimum, Hernandarias, New Italy, Marga, Limestone, Dolomite.

ÍNDICE

	Página
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2 Justificación.....	3
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Hipótesis.....	4
2. MARCO TEORICO.....	5
2.1 Antecedentes.....	5
2.1.1 Usos manejos y conservación de suelos en Argentina, Brasil, Bolivia yParaguay.....	6
2.1.1.1 Uso, manejo y conservación de suelos en Argentina en la Cuenca del Plata.....	8
2.1.1.2 Degradación de suelos en Argentina en la Cuenca del Plata.....	8
2.1.1.3 Uso, manejo y conservación de suelo en Bolivia en la Cuenca del Plata.....	9
2.1.1.4 Técnicas de conservación de suelos en Bolivia en la Cuenca del Plata.....	10
2.1.1.5 Uso, manejo y conservación de suelo en Brasil en la Cuenca del Plata.....	13
2.1.1.6 Uso, manejo y conservación de suelo en Uruguay en la Cuenca del Plata.....	15
2.1.1.7 Degradación y Erosión de Suelos en Uruguay en la Cuenca del Plata.....	17
2.1.1.8 Uso manejo, y conservación de suelo en Paraguay en la Cuenca del Plata.....	19
2.2 Geología Regional.....	22
2.2.1 Departamento Central.....	22
2.3 Departamento de Alto Paraná.....	26

2.4 Intemperismo y formación de los suelos.....	27
2.4.1 Tipos de Intemperismo.....	29
2.4.2 Resultados en las rocas del Intemperismo.....	30
2.4.3 Factores que controlan la alteración intempérica.....	30
2.4.4 Clima.....	32
2.4.5 Topografía	33
2.4.6 Biósfera.....	33
2.4.7 Tiempo.....	34
2.5 Suelos.....	34
2.5.1 Suelo y Acidez.....	34
2.5.2 Descripción general de los suelos de la región Oriental del Paraguay.....	35
2.5.3 Fuentes de mecanismos de acidez del suelo.....	37
2.6 Materiales para el encalado.....	38
2.6.1 Caliza.....	38
2.6.2 Dolomita.....	38
2.6.3 Marga.....	39
2.6.4 Cal.....	39
2.7 Corrección de la acidez.....	39
2.7.1 Encalado.....	39
2.7.2 Métodos de cálculo de cantidad de cal agrícola.....	42
2.7.3 Tipos de encalado.....	44
2.7.4 Las fuentes de correctivos.....	44
2.7.5 Método de aplicación.....	45
3. METODOLOGIA.....	47
3.1 Características generales del área de estudio.....	47
3.1.1 Localización.....	47
3.2 Característica morfológica del Distrito Nueva Italia. Departamento Central.....	48
3.2.1 Orografía.....	48
3.2.2 Hidrografía.....	48

3.2.3	Clima.....	48
3.2.4	Taxonomía de suelo.....	49
3.3	Característica morfológica del Distrito Hernandarias, Departamento Alto Paraná.....	49
3.3.1	Departamento de Alto Paraná.....	49
3.3.2	Orografía.....	50
3.3.3	Hidrografía.....	50
3.3.4	Clima.....	51
3.3.5	Taxonomía de suelo.....	51
3.4	Materiales y Métodos.....	52
3.4.1	Trabajo de laboratorio.....	52
3.4.2	Cuarta fase Determinación de pH y Aluminio intercambiable del suelo.....	55
3.4.3	Clasificación de la acidez activa (pH) del suelo.....	59
3.4.4	Necesidad de cal agrícola.....	60
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	61
4.1	Resultados.....	61
4.2	Discusión.....	63
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
5.1	Conclusiones.....	66
5.2	Recomendaciones.....	67
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
	ANEXOS.....	71

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Unidades litoestratigraficas del área de estudio.....	26
Tabla2. Cantidad de Cal agrícola utilizada en los suelos de Nueva Italia Departamento Central y Hernandarias Departamento de Alto Paraná.....	59
Tabla 3. Clasificación de Ph.....	60
Tabla 4. Aplicación de diferentes dosis de cal agrícola.....	61
Tabla 5. Aplicación de diferentes dosis de cal agrícola.....	62

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Extensión Geográfica de la Cuenca del Plata.....	7
Figura 2. Formacion de un perfil de suelos.....	29
Figura 3. Serie de Goldich. Orden de estabilidad frente al interperismo de los minerales más comunes. Comparado con la serie de cristalización magmática de Bowen.....	31
Figura 4. El papel del clima es preponderante en la determinación del tipo y eficacia del interperismo.....	33
Figura 5. Relación existente entre el pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes para las plantas.....	41
Figura 6. Mapa de ubicación del distrito de Nueva Italia en el Departamento Central.....	47
Figura 7. Resultado de análisis químico y físico del suelo del Distrito Nueva Italia,.....	49
Figura 8. Mapa de ubicación del distrito de Hernandarias en el Departamento de Alto Paraná.....	50
Figura 9. Resultado de análisis químico y físico del suelo del Distrito Hernandarias, Departamento Alto Paraná.....	51
Figura 10: Extensión y secado de muestras de suelos por tres días.....	53
Figura 11. Análisis físico y químico de la diferente cal agrícola.....	54
Figura 12. Pesaje y aplicación de cal agrícola correspondiente a cada distrito.	54
Figura 13. Pesaje de suelo para las determinaciones de pH y Aluminio intercambiable.....	59
Figura 14. Interpretación de pH de suelos en el distrito de Nueva Italia Departamento Central y el distrito de Hernandarias Departamento de Alto Paraná.....	65

LISTA DE ANEXOS

	Página
A1. Resultados de los análisis geo estadístico ANAVA.....	71
A2. Trabajos realizados en el Laboratorio.....	73
A3. Pesaje de suelos del distrito de Hernandarias Departamento de Alto Paraná y del distrito de Nueva Italia Departamento Central.....	73
A4. Determinación de pH de los suelos del distrito de Hernandarias Departamento de Alto Paraná y Distrito de Nueva Italia Departamento Central.....	74
A5. Determinación de pH en suelo de textura arenosa del distrito de Nueva Italia Departamento Central.....	74

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS Y SIMBOLO

(Al⁺³ + H⁺)	:	Acides intercambiable. (Al : Aluminio, H : Hidrogeno)
Ca	:	Calcio
CaCO₃	:	Carbonato de Calcio
CaMg (CO₃)₂	:	Carbonato Doble De Calcio Y Magnesio
FCA	:	Facultad de Ciencias Agrarias.
G	:	Gramos
Kg.ha⁻¹	:	Kilogramos por hectárea
Mg	:	Magnesio
pH	:	Potencial de Hidrogeno
PRNT	:	Poder relativo de neutralización total

1. INTRODUCCIÓN

La República del Paraguay tiene una superficie total de 406,492 km², dividido en dos grandes regiones fisiográficas: la Occidental o Chaco, constituida por una inmensa planicie sedimentaria de origen aluvial, que representa el 60% de la superficie territorial pero contiene tan solo el 3% de su población. La Región Oriental está constituida por una sucesión de tierras altas en forma de lomadas, con un sistema de serranías en su parte central que divide las cuencas de los Ríos Paraguay y Paraná. En esta última región es donde tiene lugar la mayor parte de las actividades agrícolas del país, así como las agropecuarias (Alonso, 1982).

En la actualidad los recursos naturales que componen la Región Oriental se ven afectados por graves problemas de deterioro ambiental, consecuencia de la presión sobre ellos para satisfacer las necesidades socio-económicas, ocasionando la pérdida de bosques, contaminación de cauces de agua, y sobre todo el aumento de la erosión hídrica, cuyo impacto se evidencia en la disminución de la fertilidad de la capa superficial de los suelos.

La acidez del suelo, es un problema común en la Región Oriental del Paraguay, asociada a la escasa disponibilidad de nutrientes que representa una de las mayores limitaciones para la explotación agropecuaria. Sin embargo la acidificación es un proceso natural pero que debido a la agricultura intensiva, la polución y otras actividades humanas hacen que su aparición sea más rápida, aumentando más áreas con problemas de acidez.

El uso y manejo apropiado de la cal agrícola protege el medio ambiente, incrementa la eficiencia de los nutrientes y de los fertilizantes, mejora la efectividad

de algunos herbicidas y aumenta las utilidades del cultivo. Así como también mejora la fijación simbiótica del nitrógeno en las leguminosas, influye en la disponibilidad de nutrientes para las plantas y reduce la toxicidad de algunos elementos minerales, es importante mencionar que el mayor aporte de la cal agrícola es el Ca^{++} (calcio), Mg^{++} (magnesio) (Fatecha, 1999).

Para la obtención de cal agrícola en el Paraguay se utiliza generalmente cuatro unidades geológicas que son favorables para la acumulación de depósitos de roca calcárea, los Grupos Itapucumí y Ramos de los Departamentos de Concepción y Paraguari, respectivamente; la Formación Tacuary del Departamento de Caaguazú; y las rocas alcalinas carbonatáticas del Departamento de Amambay (Wiens *et al.*, 1995).

Esta investigación se enfoca en la corrección de acidez de dos clases de textura de suelo, arcillosa y arenosa utilizando tres encalados de rocas sedimentarias de origen químico caliza; dolomita y marga, se desarrolla en la Región Oriental del Paraguay, abarcando los Departamentos Central y Alto Paraná, específicamente los distritos Nueva Italia y Hernandarias.

1.1 Planteamiento del Problema

Los suelos ácidos representan uno de los principales factores limitantes de la producción agrícola de nuestro país debido al material parental, los factores y procesos de formación, los sistemas de uso, así como las condiciones climáticas imperantes, por sobre todo el problema se agudiza por la gran cantidad de precipitaciones que caen anualmente, lo que a su vez contribuye con la eluviación de nutrientes de los coloides del suelo, hacia los niveles inferiores por debajo de la capa arable mayormente útil para los cultivos tradicionales.

Es de amplio conocimiento que en Paraguay, los cálculos de la cantidad de cal agrícola se basan principalmente, en el contenido de aluminio del suelo, los niveles de calcio más magnesio, el porcentaje de saturación de bases, los cuales se aplican de modo general a los diferentes tipos de suelo, disminuyendo los efectos negativos de la

acidez intercambiable, elevando niveles de bases (Ca+Mg) y el pH; pero sin un conocimiento de valores de pH finales que se están alcanzando.

1.2 Justificación

La utilización de la cal agrícola es primordial para contrarrestar el efecto de la acidez del suelo, en lugares de mejores rendimientos de rubros explotados. Así como identificar los diferentes tipos de suelos que sustentan los sistemas productivos, con diversas condiciones sobresaliendo el poder tampón o buffer de los suelos, que generalmente alteran el efecto de tales materiales.

En este trabajo se utilizó el método de incubación, a fin de obtener la cantidad de cal agrícola necesaria para elevar el pH del suelo a rangos óptimos en suelos de textura arcillosa y arenosa de la Región Oriental del Paraguay, que servirá de interés para estudiantes, profesionales a fines a las Ciencias geológicas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Conocer el efecto de diferentes dosis de cal agrícola sobre el pH y la acidez en dos tipos de suelos en los distritos de Nueva Italia Departamento Central y de Hernandarias Departamento de Alto Paraná.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Demostrar la necesidad de cal agrícola de la capa superficial del suelo en texturas arcillosa y arenosa en los distritos de Nueva Italia Departamento Central y de Hernandarias Departamento de Alto Paraná.
- Determinar la cantidad de cal agrícola necesaria para neutralizar la acidez intercambiable. ($Al^{+3} + H^{+}$).
- Deducir la Potencialidad de los diferentes tipos de cal agrícola de acuerdo a su

PRNT para la corrección del pH en los dos tipos de texturas.

1.4 Hipótesis

Hi: La adición sucesiva de cal agrícola caliza (CaCO_3) con 98% de PRNT, en los suelos de los distritos de Nueva Italia Departamento Central y de Hernandarias Departamento de Alto Paraná, aumentará el pH del suelo al nivel neutro y neutralizará la acidez intercambiable ($\text{Al}^{+3} + \text{H}^+$).

Hi: La adición sucesiva de cal agrícola dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ con 92% de PRNT, en los suelos de los distritos de Nueva Italia Departamento Central y de Hernandarias Departamento de Alto Paraná, aumentará el pH del suelo al nivel neutro y neutralizará la acidez intercambiable ($\text{Al}^{+3} + \text{H}^+$).

Hi: La adición sucesiva de cal agrícola (CaCO_3), impura con 56% de PRNT, en los suelos de los distritos de Nueva Italia Departamento Central y de Hernandarias Departamento de Alto Paraná, aumentará el pH del suelo al nivel neutro y neutralizará la acidez intercambiable ($\text{Al}^{+3} + \text{H}^+$)

2. MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes

La acidez del suelo en el Departamento Central según Fatecha (2004), menciona la clasificación de la acidez activa (pH) de los suelos obtenidas donde el pH del suelo presentó valores promedios de 5,4 a 6,1; lo que indica que la reacción del suelo está entre ácida a ligeramente ácida, específicamente en los distritos de Nueva Italia, Ypacarai e Ypané se pudo verificar la reacción ácida (pH 5,4-5,9), ligeramente ácida (pH 6,0-6,4) en Fernando de la Mora y Lambaré y en los demás distritos moderadamente ácida (pH 5,5-5,9).

Para el Departamento de Alto Paraná el mismo autor menciona que el pH (acidez activa) promedio del suelo varió entre 4,9 a 5,9 con una reacción que va de fuertemente ácida a moderadamente ácida. En el Distrito de Hernandarias se pudo constatar reacción fuertemente ácida (pH 4,5-4,9); ácida (pH 5,0-5,4) en los Cedrales, Minga Guazú, Minga Porá, Ñacunday, Presidente Franco, San Alberto e Yguazú, y moderadamente ácida (pH 5,5-5,9) en los restantes distritos.

Hay registros que muestran que el encalado se practicó en algunos países antes de la Era Cristiana (Whitaker, *et al* 1966). En los tiempos de la colonia de América del Norte, pocos agricultores encalaron el suelo en tanto que en el siglo XIX se llevó a efecto la práctica del encalado en forma extensiva con la excepción de Pennsylvania donde nunca se hizo en forma permanente. En ese tiempo los agricultores tuvieron poco conocimiento de la necesidad del encalado.

Por otra parte, los materiales para el encalado fueron a menudo, costosos y escasos.

Las practicas del encalado, en la actualidad, están basadas en conceptos bien establecidos mediante prácticas de investigación por el Departamento de Agricultura de los Estado Unidos y las estaciones experimentales estatales. A través de las actividades de los servicios de extensión, tantos federales como estatales, y también por medio de las prácticas de conservación de granjas, los agricultores han aprendido mucho más acerca del valor del encalado.

El mismo autor menciona que el uso de la Cal, en 1929, produjo 4 millones de toneladas de cebada. Este valor se duplico en 1939 y nuevamente se duplico en 1942. El uso total en 1947 fue de 30 millones de toneladas de cal, pero, a partir de esa fecha, decreció. El consumo, en 1995, fue de 20,3 Millones De Toneladas.

Fatecha (2004), menciona que en el Paraguay, la cal agrícola se produce en el Departamento de Concepción, específicamente en Vallemí. Esta es una localidad rica en minerales, por lo que la cal agrícola proveniente de dicha zona, se considera la mejor del país, con un poder de neutralización muy por encima del 100%. La cal producida en nuestro país sobrepasa a la producida por los brasileños, que alcanza los 85% y 90% de PRNT. Actualmente, Paraguay tiene la mejor producción, con un porcentaje de PRNT de 105%, 19% de magnesio y 40% de calcio. Nuestro país cuenta con un mercado insatisfecho, ya que la demanda anual es de unas 2.500.000 toneladas de cal agrícola, que en su gran mayoría proviene del Brasil. Por ello, resulta importante la inversión en este rubro a fin de satisfacer a los productores de nuestro país, logrando beneficios para todos.

Por su parte Wiens *et al.* (1995), menciona que en el Paraguay la estimación de la producción de cal agrícola fue de aproximadamente 45.000–60.000 TM año en 1994 cubriendo apenas el 25% de la demanda de ese año. Los tipos de cal que se encuentran en el Paraguay son la calcítica y dolomítica, con valores de PRNT que están entre 90 a 106%.

Las principales empresas que producen son la Industria Nacional del Cemento, Calfertil S.R.L., Calera Cachimbo, Acepar, Pa'i Pucú, Calera Godoy,

Agrical, Norteño S.A., Concremix, entre otras.

2.1.1 Usos manejos y conservación de suelos en Argentina, Brasil, Bolivia y Paraguay

Según el programa Marco-CIC (2006), para tener el contexto regional de los suelos encontrados en el país, vamos a presentar un estudio realizado en el 2016 en la Cuenca del Plata porque Paraguay se encuentra el 100% dentro de la misma.

Al respecto, la Cuenca del Plata es considerada por su extensión geográfica y el caudal de sus ríos, una de las más importantes del mundo. Su importancia radica también en que se trata de un territorio compartido por cinco países, con sus 3,100.000 millones de kilómetros cuadrados, ocupa la quinta parte de Sudamérica, abarcando los territorios de Argentina 85.000 km² , Bolivia 205.000 km², Brasil 1.415.000 km², Paraguay 410.000 km² y Uruguay 215.000 km². (Figura 1)



Figura 1. Extensión Geográfica de la Cuenca del Plata.
Fuente: Modificado de Instituto Nacional del Agua de Argentina (INA).

Desde el punto de vista edáfico, la Cuenca del Plata concentra la mayor parte de los suelos con mejor capacidad de producción en América del Sur. Una gran parte de estos suelos están actualmente en uso, pero a través del empleo de técnicas de manejo adecuadas pueden sumarse muchas áreas a la producción agrícola-ganadera y aumentar así el potencial de la región.

2.1.1.1 Uso, manejo y conservación de suelos en Argentina en la Cuenca del Plata

Argentina es un país situado en el extremo sureste de América del Sur. Limita al norte con Bolivia y Paraguay, al nordeste con Brasil, al este con Uruguay y el océano Atlántico, y al sur y oeste con Chile. El clima es templado, aunque podemos encontrar también un clima subtropical en el norte y subpolar en el extremo sur. Las características orográficas de la Argentina son la presencia de montañas en el oeste y de llanos en el este, configurando una planimetría que disminuye en altitud de oeste a este. Los usos principales del suelo dentro de la Cuenca del Plata son: pastos (40%), tierra arable (12%) y zonas forestales (11%). Argentina es un país de marcados contrastes geológicos, geomorfológicos y climáticos, por lo que existe una gran diversidad de suelos.

Si bien se suele conocer al país por sus amplias planicies de suelos fértiles y clima húmedo, estas condiciones solo se presentan en menos de un tercio de su superficie, siendo el área restante dominada por condiciones áridas y semiáridas.

2.1.1.2 Degradación de suelos en Argentina en la Cuenca del Plata

En Argentina un 20% del territorio (unas 60 millones de hectáreas) está afectado por procesos de erosión hídrica y eólica. A su vez, las regiones áridas y semiáridas del país, que cubren alrededor del 75%, albergan ecosistemas frágiles vulnerables a la desertificación. Estas regiones, que abarcan el oeste y sur del territorio nacional, se ven afectadas en un 10% de su superficie por una desertificación clasificada como muy grave, mientras que en un 60% ésta es de moderada a grave, a causa del pastoreo excesivo y del sobreuso de los recursos naturales.

La expansión del sistema de labranza cero o siembra directa en la llanura pampeana, cuyos suelos se ubican entre los más productivos del mundo, ocurrió en forma exponencial desde principios de la década de 1990. Esto permitió mejorar la calidad de los suelos gracias a un efectivo control de la erosión, el incremento de la materia orgánica del suelo y un mejor aprovechamiento del agua pluvial.

Así mismo, en los últimos años se ha producido una simplificación de los sistemas productivos pampeanos y extrapampeanos con un paulatino reemplazo de las rotaciones tradicionales por el monocultivo de soja, lo cual genera preocupación debido a su impacto desfavorable sobre las funciones del suelo y la sostenibilidad del agroecosistema. En las regiones áridas y semiáridas de la Argentina, la desertificación es un problema ambiental y socioeconómico que se desarrolla bajo climas con una severa escasez de agua, afectando negativamente a regiones con recursos naturales muy limitados en materia de suelo, agua y cobertura vegetal. A su vez, es muy notable la degradación de los recursos naturales de la región centro-oeste del país, que afecta a las provincias de La Rioja, San Juan, Mendoza, San Luis y el oeste de La Pampa. El desmonte de los bosques secos, el sobrepastoreo extensivo de bovinos, ovinos y caprinos, y el uso del fuego sobre las formaciones del monte y el espinal, han provocado la destrucción de la cubierta vegetal, con incremento de los procesos de erosión y desertificación. La expansión de la frontera agropecuaria hacia zonas marginales de fragilidad ecológica ha ocasionado la degradación de los recursos naturales, con pérdidas cuantiosas de biodiversidad.

El manejo integrado de los recursos naturales aparece hoy como el sistema más apropiado y seguro para la empresa agropecuaria, tanto desde el punto de vista productivo como del impacto sobre los ecosistemas de la región.

2.1.1.3 Uso, manejo y conservación de suelo en Bolivia en la Cuenca del Plata

Las cuencas del lado montañoso de Bolivia presentan un relieve heterogéneo y muy accidentado, exhibiendo un paisaje modelado como consecuencia del transporte en ciertas áreas y de la acumulación de material de origen glaciar.

Así mismo, presentan paisajes con formaciones denudaciones, estructurales y erosionales, lo que da origen a la formación de relieves con pendientes variadas.

Las estimaciones sobre la erosión de suelos indican que aproximadamente un 47% del territorio nacional presenta problemas de erosión (San Martín, 1993). La misma suele ser del tipo laminar, ligera a moderada en las zonas agrícolas, y severa en aquellas que no tuvieron la protección oportuna.

De acuerdo a estudios realizados, este proceso se incrementa, en gran parte, por no llevar a cabo prácticas adecuadas de conservación de suelos.

La intensidad y duración de las lluvias, la baja infiltración del agua, la ruptura de canales, el cambio de cultivos, la geomorfología, y las pendientes fuertes, permiten el incremento de los escurrimientos que generan las cárcavas, siendo estos canales producidos por la socavación, continua de los terrenos como efecto de la erosión hídrica.

2.1.1.4 Técnicas de conservación de suelos en Bolivia en la Cuenca del Plata

Las técnicas de manejo y conservación de suelos son actividades concertadas con la población beneficiaria y se agrupan en dos tipos de medidas: las físicas, de protección de suelos, y las agronómicas. Ambos tipos de acciones son complementarias entre sí, de acuerdo con las problemáticas existentes en cada microcuenca. Es importante promover la participación de hombres y mujeres en cada una de ellas, considerando la disponibilidad de tiempo a fin de lograr la adopción y apropiación de las técnicas y el aprovechamiento de sus beneficios.

- **Medidas físicas de protección de suelos Bolivia**

Son elementos fundamentales en la ejecución del manejo y la conservación de suelos, ya que permiten mejorar la infiltración del agua de escorrentía superficial y reducir los procesos de erosión laminar y en surcos que, a largo plazo, mantienen o

mejoran la fertilidad de los suelos. Entre las medidas de protección, se encuentran:

- * Terrazas de formación lenta con barreras vivas.
- * Terrazas de formación lenta con muros de piedra.
- * Plantación en linderos.
- * Zanjas de infiltración.

Las plantaciones en linderos y barreras vivas de pastos están reforzadas con especies arbustivas y arbóreas, de preferencia nativas del lugar. Zanjas de coronación.

- **Medidas agronómicas de producción**

Las medidas agronómicas están dirigidas a mejorar la producción bajo un sistema de agricultura orgánica y uso racional de los recursos naturales, contribuyendo así a mejorar la nutrición de las familias por efecto de la diversificación de productos como gramíneas, hortalizas, tubérculos y frutales.

- **Las prácticas que se realizan para mejorar la producción agrícola son:**

- * Incorporación de abonos fermentados (Bocashi).
- * Aplicación de biofertilizantes.
- * Preparación de caldos sulfocálcicos.
- * Introducción de semillas mejoradas.
- * Plantación de frutales.

- * Riego por aspersión.

La extensión y sensibilización comunitaria es una acción transversal a todos los componentes del MIC, debido a que el éxito y la sostenibilidad de todas las obras de infraestructura, mecánicas, biológicas y agronómicas que se realicen en esta área seleccionada, dependerán de la estrategia de extensión que se lleve adelante antes, durante y después de ejecutar las mismas.

- **Manejo de suelos y conservación en Bolivia en la Cuenca del Plata**

Es de suma importancia para el manejo y la conservación de los recursos la clara identificación de las zonas de riesgo. Para ello, se realizan estudios biofísicos que consisten en la definición de las zonas de intervención, mediante el proceso de caracterización de unidades de mapeo y el análisis de las mismas, permitiendo de esta manera integrar toda la información generada. Las actividades de manejo y conservación de suelos tienen sus bases en la concertación de trabajos conservacionistas con los directos beneficiarios del estudio: las comunidades involucradas. De este modo, se deberá identificar, junto a cada una de las familias campesinas, el espacio o parcela donde se realizarán las acciones de manejo y conservación de suelos.

Luego, una vez finalizada la etapa de planificación, se ejecutarán las medidas físicas para el control de la erosión laminar y se complementarán con prácticas agronómicas para mejorar la fertilidad de los mismos. Las principales medidas consisten en:

- * Construcción de terrazas de formación lenta con barreras vivas.
- * Construcción de terrazas de formación lenta con muros de piedra.
- * Construcción de zanjas de infiltración.

- * Implantación de árboles en linderos y cercos vivos.
- * Implementación de prácticas de labranza mínima.

2.1.1.5 Uso, manejo y conservación de suelo en Brasil en la Cuenca del Plata

Los usos más importantes de la tierra son el forestal (62%), los pastos (23%) y el agrícola (8%). Los suelos de los grupos Ferralsols y Acrisols tienen una amplia distribución en ecorregiones brasileñas, desde la Amazona hasta la Pampa Gaucha, desde el norte hasta el extremo sur del país, a través del Cerrado y la Mata Atlántica.

Estos suelos se formaron a partir de materiales diversos como los sedimentos arcillosos, limosos y arenosos del período Terciario, areniscas, rocas básicas e intermedias, calizas, granitos, gneises y migmatitas. En particular, el sur brasileño es la región de montañas y mesetas, con suelos de media a alta fertilidad. Allí son comunes los Ferralsols, Leptosols y Nitisols. Estos suelos son susceptibles a la erosión hídrica. Por su parte, en el sureste, aunque los Ferralsols y Acrisols ocupan el 78% de la región, los cultivos son de alta productividad debido a la implementación de formas de manejo tecnificado.

- **Degradación de suelo en Brasil en la Cuenca del Plata.**

En Brasil, la deforestación y la gestión inapropiada de las actividades agropecuarias son consideradas las principales causas de degradación de la tierra. Estos factores aceleran los procesos de erosión, en particular la erosión hídrica y la salinización, lo que conduce en muchos casos a la desertificación. En 2012, el área deforestada en la Amazona alcanzó el 15%, según el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE). A su vez, la conversión en cultivo del Cerrado había llegado en 2010 al 49%, mientras que datos de 2009 indican que la Catinga ha perdido ya un 46% de su cobertura vegetal y el Pantanal un 15% de su área total. El aprovechamiento forestal sin cuidados adecuados y basado frecuentemente en el uso del fuego ha generado la degradación del medio ambiente. También los sistemas de producción de

pastos han incrementado la degradación del suelo por la erosión y, sobre todo, por la pérdida de la biodiversidad.

Asimismo, según datos de 2006, unos 7.890 km² de las tierras en uso en Brasil se encontraban en avanzado estado de degradación y cerca de 60.900 km² ya no podían ser destinadas a la explotación agrícola o ganadera. Se estima que las pérdidas anuales por erosión en zonas de cultivos y pastos son en la actualidad de 970 millones de toneladas.

- **Conservación del suelo en Brasil en la Cuenca del Plata.**

Si la tierra y los pastos no son tratados con cuidado pronto las propiedades rurales podrán enfrentar problemas como escorrentía e inundaciones; empobrecimiento del suelo; escasez de agua en los manantiales, ríos y arroyos e incluso extinción de animales y plantas (Sarto, 2011). Asimismo, cuando la tierra es arrastrada por la lluvia y el viento, puede ocasionar erosión a gran escala (cárcavas). Eso causa que el suelo se degrade, produciendo enormes daños a las propiedades y agrandando arroyos y ríos. El agua también puede contaminarse con los agroquímicos arrastrados por las lluvias y causar la devaluación de las fincas. Debe tenerse en cuenta que los suelos arenosos son más fácilmente arrastrados por las escorrentías, mientras que los arcillosos son más resistentes. Además, algunos productores agravan el problema al utilizar cultivos no adaptados a las características del terreno, plantar de forma incorrecta y/o dejar la tierra desprotegida por la deforestación excesiva. Muchos de ellos tampoco controlan el pisoteo del ganado o el movimiento de maquinaria y vehículos, a la vez que realizan quemas de pastizales con producción de gases de efecto invernadero. Mientras más empinado sea un terreno más fuertes serán las escorrentías. Sin embargo, si la tierra está protegida por la vegetación y bien cuidada, la lluvia es amortiguada por las hojas. Por eso, para prevenir o controlar la erosión, se recomienda escoger los cultivos adecuados para cada tipo de suelo y terreno, plantar en nivel, utilizar terrazas, proteger los manantiales y cursos de agua, y reforestar los bosques nativos.

En pendientes pronunciadas y en la parte superior de los cerros es necesario mantener la vegetación original o plantar árboles, preferentemente especies nativas. En las laderas y en áreas menos pronunciadas se puede cubrir la tierra con pasturas o cultivos semipermanentes como el café y los árboles frutales, para disminuir la fuerza de las inundaciones. Las partes planas de la propiedad son ideales para los cultivos anuales y semianuales. Para contener las escorrentías, jamás se debe cultivar en sentido “cuesta abajo”.

Las líneas de plantación deben seguir siempre las curvas de nivel. Además, mantener la vegetación alrededor de los manantiales y de los cursos de agua los protegerá de sedimentos cargados por las lluvias y deslizamientos de tierra. Es importante seguir la vocación productiva de cada suelo en cada región y prepararlo de forma menos agresiva, ya que el laboreo excesivo provoca degradación y aumento de los costos de producción.

Así mismo, se recomienda utilizar plantas resistentes y de rápido crecimiento en áreas sujetas a erosión y realizar cultivos que cubran las áreas durante las lluvias, apelando a correctivos y fertilizantes en caso de que sean necesarios para asegurar su desarrollo. También es importante priorizar la rotación de cultivos, evitando plantar una sola especie en un área continua y amplia.

2.1.1.6 Uso, manejo y conservación de suelo en Uruguay en la Cuenca del Plata

En Uruguay existen diversas formas de degradación de suelos, siendo la erosión hídrica de origen antrópico el problema ambiental más importante asociado a la actividad agropecuaria. Esta problemática afecta aproximadamente al 30% de la superficie del país (480.000 ha) y se puede manifestar en diversos grados: leve (18% de los suelos), moderado (10%); severo (1%) y muy severo (1%) (Gardi *et al.*, 2014).

Uruguay es un país de América del Sur situado en la parte oriental del Cono Sur. Limita al noreste con Brasil, al oeste con Argentina y tiene costas en el océano Atlántico al sureste y sobre el Río de la Plata hacia el sur. Su clima es templado y

húmedo (promedio 17°C), con veranos cálidos y precipitaciones casi homogéneas durante todo el año. La mayor parte de los terrenos geológicos presentan una cobertura sedimentaria de origen continental, siendo estas capas de edad pleistocénica las que han dado origen a los suelos. Los usos más importantes del recurso suelo están vinculados con la producción de pastos asociados a la ganadería (60%) en centro y norte del país; el agrícola (25%) en el este y sur, suroeste y litoral; y el forestal (10%) en distintas zonas del territorio.

Los procesos erosivos se vinculan principalmente con actividades agrícolas (85%), mientras que no existen problemas asociados a la deforestación, ya que la vegetación nativa predominante son los pastos naturales. El segundo factor de degradación del suelo en importancia es la pérdida de materia orgánica de los suelos.

Los principales suelos del Uruguay son los Phaeozems, Leptosols, Vertisols, Acrisols y Luvisols. En el sector de la cuesta basáltica del noroeste, la cual ocupa una cuarta parte del territorio, predominan los suelos superficiales, aunque también algunos más profundos de fertilidad media-alta.

En el centro noreste se encuentran diversos materiales de origen y formas de relieve onduladas, predominando suelos superficiales a profundos con grados de fertilidad no muy altos. En esta zona existen suelos de excelente aptitud agrícola. Por su parte, en las regiones sureste y este se localizan los suelos más someros, presentando afloramientos rocosos. El litoral atlántico lagunar, asimismo, está caracterizado por lomas y planicies y presenta suelos con alta resistencia a la sequía y sin riesgo de erosión (siendo la principal área arrocera del país), así como otros con mal drenaje y poca pendiente.

Finalmente, el centro-sur tiene suelos de alta fertilidad desarrollados sobre limos y con resistencia media a la sequía, mientras que, en el oeste y suroeste, los suelos dominantes se desarrollan sobre areniscas de edad cretácica, arenas arcillosas y loess.

2.1.1.7 Degradación y Erosión de Suelos en Uruguay en la Cuenca del Plata

La degradación de suelos es generalizada en las áreas agrícolas a pesar de la relativamente baja intensidad de uso de la tierra. El fenómeno consiste principalmente en la pérdida de suelo por erosión y en la contaminación de tierras con elementos químicos (fertilizantes y plaguicidas). Asimismo, puede ser causada por factores físicos, biológicos, químicos, socioeconómicos o institucionales. Su efecto principal es el de disminuir en forma irreversible en determinadas condiciones de uso la capacidad de los suelos para sustentar la producción agrícola e iniciar procesos de sedimentación en ríos y de azolvamiento en cuerpos de agua., naturales del Uruguay, a la vez que existe considerable evidencia sobre la magnitud y localización de este fenómeno.

El estudio del riesgo de erosión de los suelos es un parámetro esencial para definir la capacidad de uso de la tierra. Para estimar el riesgo en Uruguay se tienen en cuenta factores topográficos tales como longitud, grado y forma de la pendiente, y características propias del suelo, así como la estabilidad de la estructura, velocidad de infiltración, permeabilidad y espesor del horizonte superficial. Algunos de estos caracteres del suelo dependen, a su vez, de propiedades simples como la textura, la estructura, el contenido de materia orgánica y de óxidos de hierro, entre otros.

Los suelos con los menores valores de erosión se encuentran en los departamentos del litoral y en la zona noroeste, mientras que los de mayor tendencia se ubican en el noreste, donde los índices prácticamente duplican a los del oeste. Por su parte, los suelos del sur y del sureste tienen propiedades que permiten clasificarlos como moderadamente erosionables.

El origen de la erosión radica en varios factores, entre los que se destacan el tipo de cultivo (cerealeros, oleaginosos, sacarígenos, hortifrutícolas), las características de las lluvias, la tecnología de producción y las políticas económicas vigentes, en las que inciden los mecanismos de subsidios, de impuestos y los precios de productos e insumos agropecuarios.

Respecto de los grados de erosión existentes, de acuerdo con la Dirección de Suelos y Aguas del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca de la República Oriental del Uruguay (MGAP), la pérdida bruta de suelos para toda el área agrícola del país (591.000 ha) es de 18.115 millones de toneladas, lo que equivale a 31 tn/ha/año. La pérdida neta es el 77% de la pérdida bruta; es decir, 13.969 millones de tn/año, lo que equivale a 25 tn/ha/ año. De estos totales, 10.869 millones de toneladas (60% de la pérdida bruta) va a parar a los ríos y embalses.

Las áreas de erosión nula o muy ligera son las de explotación pecuaria extensiva, ya que el sobrepastoreo contribuye con la erosión, especialmente en suelos livianos y en períodos de prolongadas sequías. En cambio, los grados de erosión ligera y moderada se producen en la zona del litoral agrícola, donde se concentra la producción cerealera, oleaginosa y sacarígena. La incorporación de formas de producción agrícola-ganaderas en rotación temporal y sistemas de conservación han contribuido con la disminución de la degradación existente.

La erosión en el centro sur del país ocurre en áreas de menor uso agrícola, aunque el mal manejo y la mayor susceptibilidad de los suelos han provocado en muy pocos años daños de consideración. Respecto del área este, sus suelos merecen una especial atención por la implantación del cultivo de soja, ya que son altamente degradables con el laboreo.

Las tierras más afectadas son las del área de influencia directa de la ciudad de Montevideo. La alta intensidad y mal uso de los suelos (monocultivo, aradas a favor de la pendiente, tecnologías atrasadas, etc.) así como los obstáculos socioeconómicos (minifundio, mercado, falta de conocimiento, etc.) han provocado un deterioro grave en la que fue considerada la mejor tierra agrícola del país, siendo particularmente afectada el área hortícola.

El fenómeno erosivo también abarca las tierras bajo colonización en el litoral y noreste de Canelones. Cabe destacar que las zonas con mayor problema de erosión de suelos muestran los índices de mayor emigración rural.

2.1.1.8 Uso manejo, y conservación de suelo en Paraguay en la Cuenca del Plata

Gardi *et al.* (2014), mencionan que la reducción de la cubierta forestal en la Región Oriental del país ha pasado de aproximadamente 8 a 18 millones de hectáreas en el período comprendido entre las décadas de 1940 y 1990.

La causa principal se vincula con el aumento de la superficie destinada a cultivos agrícolas (soja, trigo y pastos para la producción ganadera). Por su parte, la erosión hídrica y el deterioro químico del suelo se han producido sobre todo en la región oriental del país, debido a la puesta en cultivo de suelos pobres o moderadamente fértiles sin la debida aplicación de abonos orgánicos o fertilizantes químicos.

Además, la salinización constituye un proceso de degradación importante en algunas áreas, como el Chaco Paraguayo. Paraguay es un país ubicado en la parte centro-sur oriental de América del Sur. Limita al sur, sudeste y sudoeste con Argentina, al este con Brasil y al noroeste con Bolivia.

La geografía paraguaya contiene tres tipos climáticos: semitropical continental, en el oeste del Chaco; semitropical semiestépico en el área central con eje en el río Paraguay; y semitropical húmedo en la región oriental. Además, Paraguay posee dos regiones geográficas con características edáficas muy distintas: la región oriental y la región occidental o Chaco Paraguayo.

Los principales elementos geotectónicos del Paraguay están constituidos por cuencas sedimentarias y altos regionales que las separan. Los usos principales del suelo son: forestal (45%), pastos (43%) y tierra arable (10%).

- **Región Occidental-Chaco Paraguayo.**

El Chaco cubre el 61% del territorio paraguayo y alberga cerca del 2% de la población total del país. Posee una superficie aproximada de 246.925 km² y una

densidad poblacional de 0,4 habitantes por km². Está constituida por una llanura plana, de formación aluvional, la cual se inclina levemente desde los contrafuertes andinos. Su temperatura media anual alcanza los 37,8°C.

Geográficamente, se divide en tres zonas: Bajo Chaco, Chaco Central y Alto Chaco, a la vez que cuenta con una división política en tres departamentos: Presidente Hayes, Boquerón y Alto Paraguay.

Una de las características geográficas es la presencia del litoral del Paraguay, una franja de hasta 100 km de ancho que engloba parte del departamento Alto Paraguay. Esta zona litoral es llana y boscosa, y sus bosques albergan maderas duras como el quebracho y el palo santo, además de palmares. A la vez, una subzona seca abarca también parte de Alto Paraguay, Boquerón y Presidente Hayes. Esta área se caracteriza por ser una planicie seca, con vegetación de arbustos espinosos y cactus.

También aparecen dunas arenosas y tierras abiertas con algunos pantanos. La zona llamada Bajo Chaco es la subregión situada en la confluencia de los ríos Paraguay y Pilcomayo, compuesta por zonas inundables en las épocas lluviosas y con grandes pantanos, palmares y vegetación arbustiva. En esta área se encuentra el estero más extenso del Paraguay: el Estero Patiño.

- **Región Oriental del Paraguay**

La Región Oriental de Paraguay, es la zona económica más activa del Paraguay así como la más desarrollada. Su geomorfología se caracteriza por el predominio de terrenos planos a ligeramente ondulados, mientras que sus tierras son en gran parte aptas para la agricultura.

Respecto al material de origen de los suelos, la arenisca ocupa la zona del centro y el oeste, el basalto se encuentra principalmente hacia el este, y los sedimentos aluviales predominan hacia el suroeste y extremo oeste.

Los suelos originados a partir de areniscas son de textura gruesa, con baja fertilidad y baja capacidad de retención de humedad. En cambio, los suelos originados a partir de basalto presentan textura fina, son plásticos y pegajosos, con buena fertilidad y alta capacidad de retención de humedad, y corresponden en general a los suelos agrícolas más productivos del país.

- **Buenas prácticas de uso, manejo y conservación de suelos en Paraguay**

Según Cubilla (2014), los principales suelos de las regiones productoras de granos del Paraguay, en especial los situados al este y sudeste de la región oriental, son derivados de roca basáltica. Éstos son bien desarrollados, profundos, bien drenados, de coloración rojiza, ricos en sesquióxidos de hierro y aluminio, pobres en fósforo (P), pero bien provistos de bases intercambiables como el potasio (K), el calcio (Ca) y el magnesio (Mg)¹. Por otro lado, estos suelos tienen una alta capacidad de fijación de P, lo que hace necesaria que la fertilización fosfatada satisfaga tanto los requerimientos de la planta como los del suelo.

La absorción de nutrientes por la soja es influenciada por diversos factores; entre ellos, las condiciones climáticas, como la lluvia y la temperatura, las diferencias genéticas entre las variedades, el nivel de nutrientes en el suelo y los diversos tratamientos culturales.

Las condiciones de humedad y temperatura son más favorables con cobertura en sistema de siembra directa, teniendo un efecto positivo en la vida de los microorganismos. En este sistema, las condiciones favorecen la biota del suelo y, consecuentemente, tienen efectos positivos sobre la fertilidad del suelo y el rendimiento de los cultivos.

Es tarea del productor procurar el mejor ambiente posible para el crecimiento de la soja, utilizando prácticas de manejo tales como el cultivo y la fertilización con criterios de conservación de suelo, la selección de variedades y densidad de plantas adecuada, y el control integrado de malezas, plagas y enfermedades. Las

combinaciones de estas prácticas varían en diferentes situaciones de producción y niveles de manejo del suelo y son fundamentales en la determinación del éxito de la producción final.

Por todo lo expuesto, se puede deducir que en el Paraguay a diferencia de los demás países que están dentro de la Cuenca del Plata es que los principales suelos en especial aquellos que se encuentran situados al este y sudeste de la Región Oriental. Son derivados de rocas basálticas es decir son bien desarrollados, profundos y bien drenados, de coloración rojiza ricos en sesquióxidos de hierro y aluminio, pobres en fósforo (P), pero bien provistos de bases intercambiables como el potasio (K), el calcio (Ca) y el magnesio (Mg) ¹ cual lo hace un suelo con alta capacidad de fijación de fosforo el cual lo hace necesario para que la fertilización fosfatada satisfaga los requerimientos de la planta como los del suelo. La erosión hídrica y el deterioro químico del suelo son producidos sobre todo debido a la puesta en cultivo de suelos pobres o moderadamente fértiles sin la debida aplicación de abonos orgánicos o fertilizantes químicos.

2.2 Geología Regional.

2.2.1 Departamento Central

La secuencia sedimentaria del Paleozoico Inferior aflorante en el área, está constituida por depósitos marinos transgresivo y regresivo, que se inicia en el Ordovícico Superior y va hasta el Silúrico. Esta secuencia es correspondiente a los Grupos Caacupé e Itacurubí.

Desde el punto de vista tectónico en la zona constituye el evento distensional del tipo rifting, de edad Mesozoica. El distendimiento de la corteza produjo estructuras del tipo graben como los de Acahay y Asunción.

En los graben citados aparecen sedimentos siliciclásticos de relleno, contemporáneos a los periodos activos de dicho ciclo tectónico. La actividad tectónica

de subsidencia del Graben de Asunción tuvo su periodo máximo en el Cretácico, posterior a la actividad magmática principal.

Los valles de la zona se encuentran casi siempre con una cobertura cuaternaria, generalmente de poco espesor y consistente principalmente de sedimentos limo- arcillosos. no consolidado (Núñez & Bartel, 1998).

- **Grupo Caacupé**

Este grupo ha sido descrito inicialmente por Harrington (1950), como Serie Caacupé, dividiéndolo en conglomerado Paraguarí y areniscas Piribebuy. Más tarde el mismo autor, en 1956, cambia la denominación Serie Caacupé por Grupo Caacupé. Y en 1972 subdivide el grupo en las tres unidades siguientes:

- ✓ Conglomerado de Paraguarí.
- ✓ Areniscas de Cerro Jhú, areniscas de Tobatí. Esta misma subdivisión ha sido utilizada en los trabajos siguientes: Escobar (1978), *The Anschutz co.* (1981) y en el mapa geológico del Proyecto PAR 83/005 (1986) entre otros, pero ya con la asignación de la categoría de formación para cada unidad.

En el mapeo geológico de la Hoja Paraguarí 1:100.000, en conformidad con la comisión conformada para su estudio final opta por una subdivisión en solamente dos unidades:

- ✓ Conglomerado basal o Formación Paraguarí.
- ✓ Las formaciones Cerro Jhú y Tobatí indiferenciadas.

Se ha optado por esta subdivisión, considerando que la unidad basal de los conglomerados de la Formación Paraguarí, aunque presentes en afloramientos discontinuos, puede ser fácilmente identificada en el campo y sus contactos mapeados a la escala de este mapa. Mientras que las formaciones superiores son definidas como una única unidad indiferenciada, por la problemática existente en el trazado de un

límite claro y definido entre ambas, esto debido al paleoambiente depositacional y las diferentes facies interpuestas en un sistema transgresivo (Núñez & Bartel, 1998).

- **Formación Paraguari**

Se trata de un paquete sedimentario clástico, grueso, consistente principalmente de conglomerado, con intercalaciones de arenisca arcóscicas, gruesas, especialmente en la parte superior de la formación, o sea en el tramo transicional hacia las areniscas de la unidad superior.

La localidad tipo de esta formación se halla aproximadamente 5 km. al noreste de la ciudad Paraguari, en los alrededores del ramal Paraguari Piribebuy. El perfil del corte de la ruta muestra un conglomerado polimictico de clastos redondeados a subredondeados, de tamaños que varían desde pocos centímetros hasta excepcionalmente clastos de 30 cm. Los bancos de conglomerados se presentan con forma tabulares alargadas de amplios lóbulos de abanicos aluviales, con dirección de paleo corriente al suroeste. Otros afloramientos destacables se hallan en la Compañía Soto Ruguá, en la propiedad de una destilería, donde los bancos conglomeraditos descansan en discordancia angular sobre las metasiltitas plegadas y falladas del Grupo Paso Pindó.

En este afloramiento conglomerádico los bancos se presentan delgados y se acomodan alternando areniscas gruesas a conglomerádicas, muy mal seleccionadas (Núñez & Bartel, 1998).

- **Formaciones Cerro Jhu y Tobati Indiferenciadas.**

Las denominaciones de las dos formaciones superiores del Grupo Caacupé fueron inicialmente propuestas por Harrington, 1972, como Cerro Jhú *Sandstone* y Tobatí *Sandstone*. Estas denominaciones son sinónimos de las Areniscas Piribebuy (Harrington, 1950), Sandsrein von Caacupé (Wolfart, 1961) y *Arkosic Sandstone/ White Saccharoida/ Sandstone* (Eêkel, 1959).

La unidad indiferenciada está constituida esencialmente de areniscas, razón por la cual Harrington en 1972, las divide y las denomina con su caracterización litológica. Localmente aparecen intercalaciones de arcillitas (caolinita), estas son intercalaciones poco potentes, que generalmente no superan 1 m. de espesor en áreas conocidas en la hoja, pudiendo alcanzar hasta 4 m. en otras localidades (Itá Moroti, en la hoja contigua de San José).

La secuencia indiferenciada se inicia con areniscas gruesas a medias, con intercalaciones conglomerádicas en la base, en contacto transicional con los conglomerados infrayacentes de la Formación Paraguari. No presenta una litología característica, en general son arcósicas y conglomeráticas en la base, pasando gradualmente a areniscas mejor seleccionadas y de buena madurez mineralógica en los perfiles superiores (Núñez & Bartel, 1998).

- **Grupo Asunción**

El Graben de Acahay y el Graben de Asunción conforman aparentemente brazos de una "triple junction", activos durante el proceso de rifting en el Mesozoico. El Graben de Asunción subsidie posterior a la fase magmática del Ciclo Tectónico Sudatlántico, probablemente a partir del Mesozoico Medio, atribuyendo su origen a un último pulso en la evolución del rift. El relleno de esta fosa es denominado Grupo de Asunción (Proyecto PAR•83/005 ,1986).

Inicialmente estos sedimentos fueron relacionados con la Formación Misiones (Harrington, 1950, Eckel, 1959, Anónimo, 1966, *The Anschutz Co.*, 1981, etc.). El Proyecto PAR•83/005 en 1986 denomina Formación Patiño al relleno de la fosa del área de Asunción. Cabe considerar que la denominación Formación Patiño ya había sido utilizada por Spinzi en 1983, haciendo referencia solamente a la secuencia fanglomerádica aflorante de los alrededores del Cerro Patiño. Por estas razones se denomina a la secuencia de relleno de la fosa como Grupo Asunción. Cabe mencionar que la denominación Grupo Asunción ha sido utilizada primeramente por Gómez en 1991 y luego adoptada por Bartel en 1994.

El relleno de la fosa se caracteriza por constituirse de un material de muy variada textura, debido a la rápida subsidencia de la estructura, al reducido espacio creado para la depositación de los sedimentos y a la corta distancia de transporte, todos estos factores han sido condicionados por una paleomorfología abrupta.

En general estas rocas se presentan poco consolidadas, friables, con escasa matriz o matriz arcillosa. Excepcionalmente se observan en el paisaje cerros testigos, que presentan alta solidificación, por efecto de intrusiones ígneas locales (Cerro Ñanduá, Cerro Yaguarón, Cerro Curupayty, etc.). La secuencia completa es poco conocida, pero se considera una madurez litológica sucesiva en dirección oeste, considerando que las rocas del Cerro Pero constituyen los sedimentos de la base de la unidad y las rocas aflorantes al oeste y al noroeste consisten de la sedimentación superior. Los espesores del relleno son poco conocidos, pero se presume que la unidad de relleno tiene un espesor promedio aproximado de 500 metros (Núñez & Bartel, 1998).

2.3 Departamento de Alto Paraná.

En base a la literatura existente sobre la zona de estudio (PROYECTO PAR/1986; The Anschutz Corporation, 1979), la misma se encuentra constituida por las siguientes unidades litoestratigráficas, con edades Mesozoicas, en periodos que van del Jurásico al Cretácico, en una sucesión de lo más antiguo a lo más joven.

Así, tenemos la siguiente tabla de la estratigrafía de la región. **Tabla 1**

Tabla 1. Unidades litoestratigráficas del área de estudio.

Unidades Lito estratigráficas		Edad
Formación	Era	Periodo
Acaray	Mesozoico	Cretácico
Alto Paraná	Mesozoico	Jurásico – Cretácico
Misiones	Mesozoico	Triásico – Jurásico

Fuente; Elaboración Propia.

- **Formación Misiones (Triásico-Jurásico, 225 a 145 m.a.)**

Según Proyecto PAR 86, esta formación está constituida por areniscas mayormente bien seleccionadas y de coloración rojiza. Presenta dos facies sedimentarias, la de origen eólico que es predominante y la de origen fluvial, que ocurre en menor proporción. En el Paraguay, a las areniscas eólicas de la Formación Misiones, propiamente dicha, se las correlaciona con la Formación Botucatu, del Brasil.

- **Formación Alto Paraná (Jurásico-Cretácico, 145 a 65 m.a.)**

Está formada por extensos derrames de lavas basálticas, predominantemente toleíticos, esta correlacionada con la Formación Serra Geral en el Brasil. En su porción inferior está intercalada con las areniscas eólicas de la Formación Misiones (Proyecto PAR 86; The Anschutz Corporation, 1979).

- **Formación Acaray (Cretácico Superior, 65 m.a.)**

Está constituida por una arenisca de color rosado, micácea y de granulometría fina, que se encuentra sobre los basaltos de la Formación Alto Paraná. Está correlacionada en el Brasil con la Formación Caiua (Proyecto PAR 86).

2.4 Intemperismo y formación de los suelos

Los materiales de la superficie de la tierra donde habitamos y dependemos para vivir es producto de las transformaciones de la corteza terrestre que sufre la interacción entre la atmósfera, biósfera e hidrósfera, o sea, son el producto del intemperismo. (Toledo, *et al* 2004)

El intemperismo es el conjunto de modificaciones físicas (desagregación) y química (descomposición) que sufren las rocas al aflorar en la superficie de la tierra. Los productos de este proceso dan como resultado a las rocas alteradas y al suelo que

están sujetos a su vez , a otros procesos del ciclo geológico que son la erosión, transporte y sedimentación, los que llevan a la denudación continental que resulta en el aplanamiento del relieve. (Toledo, *et al* 2004)

Varios son los factores que controlan la acción del intemperismo, el clima que se expresa en la variación sazonal de la temperatura y en la distribución de las lluvias, el relieve, que influye en el régimen de infiltración y drenaje de las aguas pluviales, la fauna y la flora que nos dan la materia orgánica para las reacciones químicas y para remobilizar los materiales, la roca parental que de acuerdo a su naturaleza, presenta resistencia diferenciada a los procesos de alteración intempérica y finalmente, el tiempo de exposición de la roca a los agentes intempéricos(Toledo, *et al* 2004).

La pedogénesis (formación del suelo) ocurre cuando las modificaciones causadas en las rocas por el intemperismo, además de las químicas y mineralógicas se tornan sobre todo cambios estructurales, con importante reorganización y transferencia de los minerales formadores del suelo-principalmente arcillo-minerales y oxihidróxidos de hierro y aluminio –entre los niveles superiores del manto de alteración. En este proceso desempeñan un papel fundamental la fauna y la flora del suelo, que al realizar sus funciones vitales, modifican y mueven enormes cantidades de materiales, manteniendo el suelo aireado y renovado en su parte más superficial(Toledo, *et al* 2004).

El intemperismo y la pedogénesis llevan a la formación de un perfil de alteración o perfil del suelo. El perfil está estructurado verticalmente a partir de la roca fresca, en la base, sobre el cual se forman los saprolitos y/o suelo que constituyen juntos, el manto de alteración o regolito.(Figura 2)

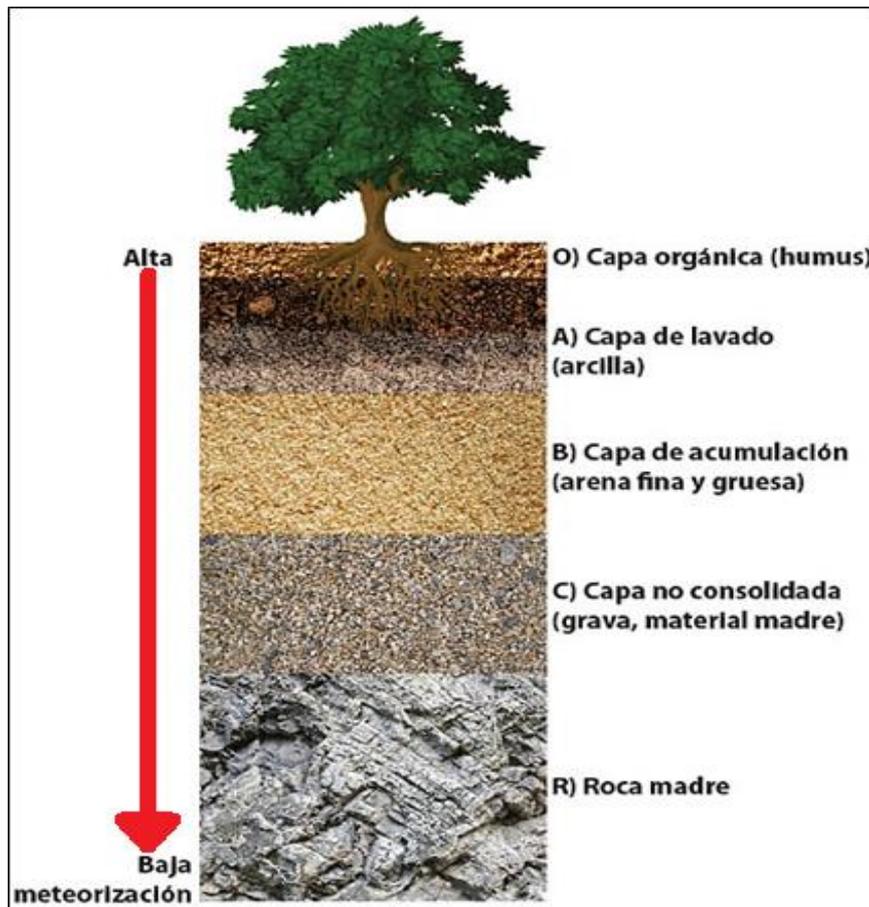


Figura 2. Formación de un perfil de suelos

Fuente: Modificado de (Blanco l., *etal.*2001) /site/formaciondesuelo/perfil-de-suelo Blanco l., *etal.*2001

2.4.1 Tipos de Intemperismo

Los procesos intempéricos actúan a través de mecanismos modificadores de las propiedades físicas de los minerales y rocas (morfología, resistencia, texturas, ect) y de sus características químicas (composición química y estructura cristalina). En función de sus mecanismos predominantes de actuación, son normalmente clasificados en **intemperismo físico** e **intemperismo químico** (Toledo, *et al* 2004)

- **Intemperismo físico**

Todos los procesos que causan desagregación de las rocas, con separación de los granos minerales antes compactos y con fragmentación, transformando la roca inalterada en material discontinuo y friable, constituye el intemperismo físico. (Toledo, *et al* 2004)

- **Intemperismo químico**

El ambiente de la superficie de la tierra, caracterizado por presiones y temperaturas bajas, agua y oxígeno es muy diferente al ambiente donde se formaron las rocas, por esa razón, cuando las rocas afloran, sus minerales entran en desequilibrio y a través de una serie de reacciones químicas, se transforman en otros minerales, más inestables en ese nuevo ambiente(Toledo, *et al* 2004) .

2.4.2 Resultados en las rocas del Intemperismo

El intemperismo es un proceso importante en el ciclo de las rocas que se adecua estrictamente a la génesis de las rocas sedimentarias y sigue los procesos geológicos; intemperismo-erosión y sedimentación, respectivamente(Toledo, *et al* 2004) .

Cuando actúan los procesos intempéricos sobre la roca da como resultado una fase residual que permanece *in_situ* , cubriendo los continentes que está formado por minerales primarios inalterados y por minerales secundarios transformados o neoformados. Las principales asociaciones minerales del manto de alteración incluyen al cuarzo, las micas más o menos transformadas, las arcillas-minerales del grupo de la caolinita y la esmerita y los óxi-hidróxidos de hierro y aluminio. Se complementa una fase acuosa rica en elementos más solubles en condiciones de la superficie terrestre, tales como el sodio, calcio, potásio, magnesio y en menor grado, el silicio(Toledo, *et al* 2004) .

2.4.3 Factores que controlan la alteración intempérica

Varias características del ambiente en que se procesa el intemperismo influyen directamente en las reacciones de alteración, de acuerdo a su naturaleza, velocidad e intensidad, los llamados factores de control del intemperismo que son básicamente el material parental, clima, topografía, biósfera y tiempo(Toledo, *et al* 2004).

Entre todos estos factores citados, vamos a mencionar más específicamente al material parental (Toledo, *et al* 2004).

La alteración intempérica de las rocas depende de la naturaleza de los minerales constituyentes, de su textura y estructura. Por ejemplo, una roca silicatada como el granito es más resistente a la alteración que una roca carbonática como el mármol(Toledo, *et al* 2004).

Entre los minerales que constituyen a las rocas algunos son más susceptibles de alteración que otros. La Serie de Goldich (Figura 3) representa la secuencia normal de estabilidad de los minerales principales frente al intemperismo. Para los minerales silicáticos de origen magmática, esta serie se equivale a la Serie de Bowen que representa al orden de cristalización de los minerales a partir del magma.



Figura 3. Serie de Goldich. Orden de estabilidad frente al interperismo de los minerales más comunes. Comparado con la serie de cristalización magmática de Bowen

Fuente: Modificado de (Toledo C., *et al* 2004) In Descifrando a Terra

Como consecuencia, de la diferenciación de comportamiento de los minerales frente al intemperismo, los perfiles de la alteración serán naturalmente enriquecidos con los minerales más resistentes como el cuarzo y empobrecidos o mismo desprovistos de los minerales más alterables como el olivino (Toledo, *et al* 2004).

2.4.4 Clima

El clima es el factor que influye más en el intemperismo (Figura 4) más que otro factor, determina el tipo y la velocidad del intemperismo en una determinada región. Los dos parámetros climáticos más importantes son la precipitación y la temperatura, regulan la naturaleza y la velocidad de las reacciones químicas (Toledo, *et al* 2004).

De esa forma la cantidad de agua disponible en el perfil de alteración, dada por las precipitaciones así como la temperatura, actúan en el sentido de acelerar o retardar las reacciones del intemperismo, o también pueden modificar la naturaleza de los productos neoformados, de acuerdo a la eliminación de los componentes potencialmente solubles (Toledo, *et al* 2004).

Cuanto mayor sean las lluvias en cantidad (pluviosidad total) y más frecuente (distribución), más completas serán las reacciones químicas del intemperismo (Toledo, *et al* 2004).

La temperatura desempeña un doble papel, condicionando la acción del agua y acelera las reacciones químicas, al aumentar la evaporación disminuye la cantidad de agua disponible para la lixiviación de los productos solubles. A cada 10 grados Celsius de aumento en la temperatura, la velocidad de las reacciones químicas aumenta de dos a tres veces (Toledo, *et al* 2004).

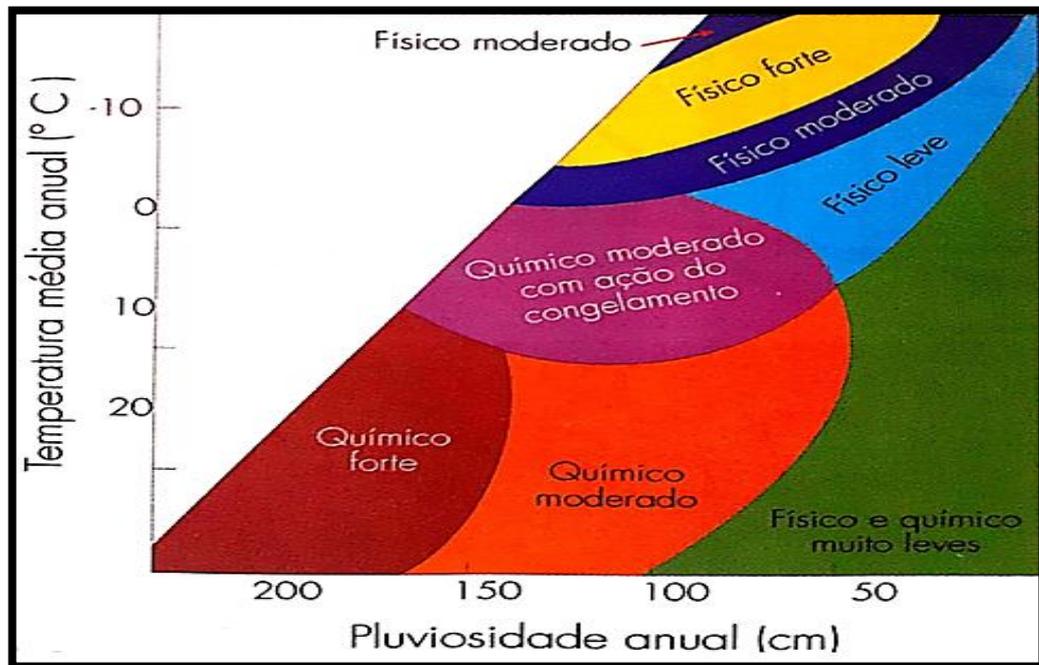


Figura 4. El papel del clima es preponderante en la determinación del tipo y eficacia del interperismo

Fuente: Modificado de (Toledo C., *et al* 2004) In Descifrando a Terra

2.4.5 Topografia

La topografía regula la velocidad de escurrimiento superficial de las aguas pluviales (que también depende de la cobertura vegetal) y por lo tanto controla la cantidad de agua que se infiltra en los perfiles. Las reacciones químicas ocurren más intensamente en los relieves donde es posible buena infiltración del agua (Toledo, *et al* 2004).

2.4.6 Biósfera

La acción de la biósfera influencia en la calidad del agua que promueve el interperismo químico, así tenemos que la materia orgánica muerta en el suelo se descompone liberando CO₂, cuya concentración en los poros del suelo puede ser hasta 100 veces mayor que en la atmósfera, lo que disminuye el pH de las aguas de infiltración. En torno a las raíces de las plantas el pH es todavía mayor de 2 a 4, y se mantiene en cuanto se produce el metabolismo de las plantas. Esto es más importante en el caso del aluminio que es muy poco soluble en los medios normales pero se torna

muy soluble en los pH debajo de 4(Toledo, *et al* 2004).

2.4.7 Tiempo

El tiempo necesario para intemperizar una determinada roca depende de otros factores que controlan el intemperismo, principalmente de la susceptibilidad de los constituyentes minerales y del clima.

Valores del orden de 20 a 50 m por millón de años pueden ser considerados representativos para la profundidad de un perfil de alteración, siendo que el extremo superior a este intervalo ya son de climas más agresivos.

En climas muy fríos como el de Escandinavia, superficies graníticas descubiertas por el hielo de 10.000 años solo se alteran pocos milímetros. (Toledo, *et al* 2004)

2.5 Suelos

2.5.1 Suelo y Acidez

Se denomina suelo a la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física y química de las rocas y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre ella (Alcarde, 1988).

La descomposición de la roca madre puede deberse a factores físicos y mecánicos, con por alteración, o descomposición química. En este proceso se forman los elementos característicos que conforman el suelo, los coloides y los iones: dependiendo del porcentaje de coloides e iones, y de su origen, en el suelo tendrá determinadas características (Altieri *et al*, 2006)

El suelo se clasifica según su textura en: arenosa, limosa, arcillosa y por su

estructura en: floculada, agregada o dispersa, lo que define su porosidad que permite una mayor o menor circulación del agua, y por lo tanto la existencia de especies vegetales que necesitan concentraciones más o menos elevadas de agua o de gases.

- ✓ **Textura arenosa:** se denominan a aquellos suelos sueltos, se caracterizan por tener una elevada permeabilidad al agua y por tanto una escasa retención de agua y de nutrientes. Su diámetro va de 0,05 – 2,0mm. (Porta, *et al*, 2003).
- ✓ **Textura arcillosa:** se denominan a los suelos pesados o fuertes. Presentan baja permeabilidad al agua y elevada retención de agua y de nutrientes. Su diámetro es < 0,002mm (Porta, *et al* 2003).

El suelo también se puede clasificar por sus características químicas, por su poder de absorción de coloides y por su grado de acidez (Alonso, *et al* 1984).

La acidez es un proceso natural que se verifica en suelos derivados de basaltos y sedimentos varios, por lo que constituyen uno de los principales inconvenientes en agriculturas en países tropicales y subtropicales. Existen dos tipos: la activa o actual, causada por iones de hidrogeniones y la potencial o de reserva, causada por el aluminio intercambiable.

El proceso de acidificación de los suelos en el Paraguay se da cuando el promedio de precipitación anual es mayor al promedio de evapotranspiración anual, lo que provoca un proceso de lixiviación de las bases del suelo. Así mismo la extracción por las cosechas sucesivas, el exceso de mecanización, el uso indiscriminado de fertilizantes químicos y la escasa utilización de enmienda o cal agrícola, contribuyen para acentuar este proceso (Fatecha, 2004).

2.5.2 Descripción general de los suelos de la región Oriental del Paraguay

En la región oriental del país existen una diversidad de tipos de suelo, en total existen 7 ordenes. 13 subórdenes, 28 Grandes Grupos y 58 Subgrupos, clasificados por el sistema Soil Taxonomy, del Departamento de agricultura de los Estados Unidos

de América (López, et al 1995).

Los departamentos cuyas tierras presentan menores limitaciones en cuanto a la fertilidad son Alto Paraná e Itapúa, suelos de fertilidad media a alta, permitiendo su total aprovechamiento, seguido por Caaguazú, San Pedro, Concepción, Amambay y Canindeyu. Así mismo los suelos con mayores limitaciones para la explotación agrícola son los de Cordillera y Paraguari, por estar excesivamente desgastados y poseer en consecuencia, baja fertilidad; los del Guaira y Caazapa, con suelos regularmente aptos para el cultivo; así como Misiones y Ñeembucú que predominan las tierras bajas y pantanosas, siendo apenas un 20% la fracción cultivable (MAG-IICA2003).

Igualmente identifican los sistemas productivos en las pequeñas propiedades de la Región Oriental del Paraguay en tres zonas principales; de suelos arenosos medianamente fértiles (7 a 10 años de uso), con un contenido de materia orgánica de 1,2%; que se encuentran en los Departamentos de San Pedro, Caaguazú, y Caazapa; los suelos arenosos muy degradados (más de 15 años de uso) con menos de 1% de materia orgánica, generalmente compactados, principalmente en los Departamentos de Paraguari, Central, Cordillera y Guaira, y de suelos arcillosos con mediana a alta fertilidad, con materia orgánica de 2 a 3%, localizados en los Departamentos de Alto Paraná e Itapúa. También se encuentran zonas de transición con características de suelo intermedias en el Departamento de Misiones, Ñeembucú y Canindeyú (Fatecha, D. 2004).

La mayoría de los suelos de la región oriental son suelos ácidos, un estudio realizado por la Tennessee Valley Authority (1971), ha encontrado que la mayoría de las muestras de la región oriental del Paraguay son suelos ácidos, donde se encuentran una gama de elementos y compuestos acidificantes: la necesidad proyectada hasta hace 30 años atrás, en lo que respecta a material correctivo para toda la región Oriental del país se calculaba en 157.000 toneladas de calcáreo (López, et al 1996)

En las condiciones de uso de tierra en la Región Oriental del Paraguay, se

estima que la cantidad necesaria de cal agrícola es aproximadamente 2.000.000 de toneladas por año (Alonso, *et al* 1984).

2.5.3 Fuentes de mecanismos de acidez del suelo

Los protones del suelo tienen diferentes orígenes, en los suelos ácidos estas fuentes pueden ser hidrólisis del CO₂ proveniente de la respiración de los microorganismos, la hidrólisis de cationes metálicos, los grupos de ácidos y alcohólicos de la materia orgánica, los grupos OH de las láminas de los aluminosilicatos y los fertilizantes. Igualmente, al suelo pueden llegar ácidos fuertes provenientes de contaminantes como la lluvia ácida y vertidos industriales (Rojas, *et al* 1996)

El pH del suelo es el parámetro químico más fácil de medir y el que, mayor información provee sobre las características del suelo. Aunque el pH del suelo tenga valores altos o bajos, las concentraciones de H⁺ y OH⁻ no son la causa directa del daño que pueden causar a las raíces, a los microorganismos o a las propiedades del suelo.

El pH es una señal indirecta de un daño potencial a estos. Por ejemplo, un pH < 5,5, indica una concentración de Al⁺³ que pueden ser biológicamente tóxicas. Por el contrario, un pH mayor que 6,5, está asociado a la insolubilidad de elementos esenciales como Fe⁺³ o el Zn⁺² (Almada, 1998).

En la química del suelo, el pH controla diferentes mecanismos y reacciones como el intercambio iónico, la solubilización y precipitación, los fenómenos de absorción, entre otros. El parámetro de la acidez de los suelos adquiere gran importancia en los suelos tropicales especialmente, donde los suelos ácidos ocupan más del 80% del territorio.

La acidez incide directamente en la fertilidad de los suelos adquiere, ocasionando un mayor o menor grado de solubilidad de los elementos nutrientes para las plantas y afectando de este modo la producción agrícola (Espinoza, J. 1995).

Existe la posibilidad de que en ciertos suelos de climas tropicales la oxidación de ciertas sales, donde son liberadas grandes cantidades de aluminio intercambiable a la solución del suelo, allí en mayor o menor medida polímeros o monómeros de aluminio entran en contacto directo con coloides del suelo, creando una toxicidad bien conocida en los ambientes agrícolas, provocando lesiones radiculares, impidiendo la disponibilidad de los nutrientes esenciales para los cultivos (Almada, 1988).

Aluminio intercambiable es el resultado de la meteorización de rocas con alto contenido de aluminio, que liberan cantidades de iones aluminio que entran en contacto con moléculas de hidrogeno y oxigeno resultantes de la hidrolisis de agua, es una medida muy exacta de establecer con certeza la toxicidad y acidez por lo tanto que considera no solo el potencial de hidrogeno de la solución de suelo si no que la cantidad de estos dos elementos que son los principales componentes del proceso (Florentín, et al 2001).

2.6 Materiales para el encalado

2.6.1 Caliza

La caliza es una roca sedimentaria generalmente marina, cuyo componente principal es la calcita (carbonato de cálcico CaCO_3). Su origen puede ser la precipitación química o bioquímica de carbonato cálcico en los medios sedimentarios, la construcción por organismos (calizas coralinas), y la cementación de conchas de calizas de molusco (lumaquelas). Los relieves calizos son frecuentes en cordilleras jóvenes (por ejemplo los Alpes), dando lugar a relieves característicos entre las formas erosivas de las calizas se encuentran las formaciones Kársticas (Nuñez ,2006).

2.6.2 Dolomita

La dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, es una roca cálcica que contiene carbonato de magnesio en cantidad equivalente o cercana al contenido de carbonato de calcio de la roca. A la roca cálcica que contiene carbonato de magnesio en menores proporciones

se le llama propiamente roca cálcica magnesiana, o roca cálcica dolomita. (Whitaker, *et al* 1966).

2.6.3 Marga

La marga (CaCO_3) impuro, es un material terroso, granular, compuesto principalmente por carbonato de calcio de fragmentos de concha (marga de concha) o formado por precipitación de lagunetas. Este material contiene cantidades variantes de limo y materia orgánica. (Whitaker, *et al* 1966).

2.6.4 Cal

La cal es químicamente, óxido de calcio. El término es usado en la agricultura para nombrar cualquier material que contenga calcio o calcio y magnesio en formas capaces de corregir acidez del suelo (Whitaker, *et al* 1966).

2.7 Corrección de la acidez

2.7.1 Encalado

El encalado consiste en la aplicación de cal agrícola, con el objeto de neutralizar la acidez del suelo causada por hidrogeno y aluminio. Los productos que se utilizan como alcalinizantes o correctivos de la acidez del suelo son principalmente carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio y/o magnesio, debido a su diferente naturaleza química, estos materiales presentan capacidad de neutralización variable (IAC- Instituto Agronómico de Campinas 1996).

La acción neutralizante de los materiales del encalado no se debe en forma directa del calcio y el magnesio, sino más bien a las bases químicas a la cual están ligados estos cationes, entonces los cationes reemplazan los iones ácidos de las posiciones intercambiables y los ponen en solución, y al entrar en contacto la cal, con el agua del suelo las sales básicas se disocian generando carbonatos, hidróxidos,

silicatos son los que neutralizan la acidez del suelo al propiciar la precipitación del aluminio como $\text{Al}(\text{OH})_3$ y la formación de agua. Las sales básicas del calcio magnesio son muy abundantes en la naturaleza. (Malavolta, E. 1989).

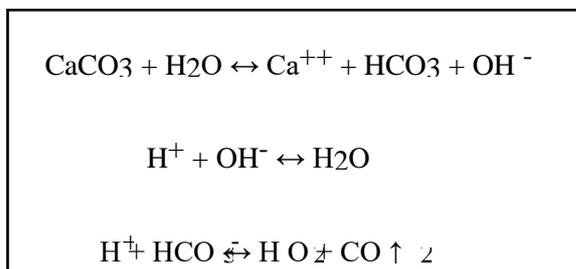
El uso apropiado de la cal agrícola protege el ambiente, incrementa la eficiencia de los nutrientes y de los fertilizantes, mejora la efectividad de algunos herbicidas y aumenta las utilidades del cultivo (Lazcano, 2010).

La finalidad de la aplicación de la cal agrícola es, cuanto menos, la neutralización del aluminio intercambiable o la acidez extractable, ya que aquel es el principal precipitador o inmovilizador del fósforo soluble del suelo y es un componente básico de las arcillas. (Bertsch, 1995).

Todos los suelos tienden con los años de uso a acidificarse, por lo que conforme a la intensidad de su uso, tarde o temprano será necesaria la aplicación de calcáreo. Ciertas zonas requieren mayor cantidad que otras, existiendo suelos en que por el momento aún no necesitan la aplicación del material calcáreo.

En tanto, los suelos derivados de areniscas son menos exigentes y el encalado se usa más para reponer las bases del suelo que fueron arrastrada o infiltradas. (Domínguez, 1988).

En los procesos de neutralización de la acidez del suelo en la aplicación de carbonato de calcio, se pueden observar las siguientes reacciones:



Los mismos muestran que el oxidrilo (OH^-) y el bicarbonato (HCO_3^-) reaccionan con el hidrogenión (H^+) formando agua (H_2O) y anhídrido carbónico (CO_2) respectivamente, este último perdiéndose en la atmósfera. Entonces la neutralización de un suelo puede ser representado de la siguiente manera:



La cal agrícola neutraliza la acidez representada por el $\text{Al}^{+3} + \text{H}^+$ en donde el Al es precipitado como $\text{Al} (\text{OH})_3$ y las posiciones de intercambio ocupados por las bases de cambio (Mello et al., 1988).

González, E. 1995. señala que el encalado corrige el pH del suelo, aporta calcio principalmente y magnesio en menor proporción como nutrientes para las plantas, pero no posee elementos primarios (nitrógeno, fósforo, potasio y azufre) ni tampoco elementos secundarios, por lo tanto la cal agrícola no es considerada como fertilizante químico, pero está ligada íntimamente al mismo. Porque se modifica el pH del suelo, el cual condiciona la disponibilidad de nutrientes, como se muestra en la siguiente (Figura 2)

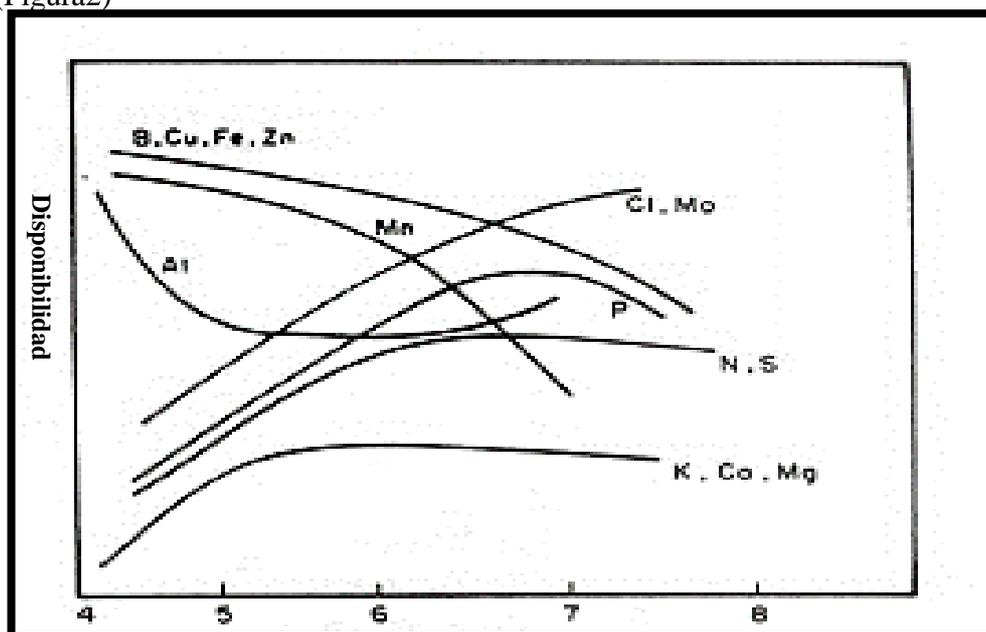


Figura 5. Relación existente entre el pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

Fuente: Modificado de Malavolta., E. 1987.

2.7.2 Métodos de cálculo de cantidad de cal agrícola

Existen bien definidos cuatro métodos de determinaciones de la acidez, del suelo entre los más utilizados en nuestro país se encuentra el método de aluminio intercambiable que considera la cantidad de cal a utilizar, de modo a eliminar la cantidad de aluminio de su nivel considerado tóxico y se utiliza una constante de suelo que es el 2,0; siendo la fórmula como sigue $Tn \text{ ha}^{-1} \text{ CaCO}_3 = 2,0 \times \text{Al}^{+3} + \text{H}^+$.

Otro método es el del Ca + Mg y se utiliza el calcio y el magnesio intercambiables con la siguiente fórmula $Tn \cdot \text{Ha}^{-1} \text{ CaCO}_3 = 3,5 - (\text{Ca} + \text{Mg})$ donde 3,5 es el nivel deseado de estas bases (Fatecha, 2004).

El método de saturación de bases utiliza la capacidad de intercambio catiónico como un factor de la diferencia entre un nivel deseado de saturación de bases y el nivel de saturación de la muestra de suelo siendo la siguiente fórmula. Este método se ajusta a un periodo de incubación de 30 a 40 días (Malavolta, 1989).

$$Tn \cdot \text{Ha}^{-1} \text{ CaCO}_3 = (V_2 - V_1) / \text{C.I.C.} \times 100.$$

El método de incubación se refiere a la incubación de muestras de suelo que van de 30 a 40 días y consiste en aplicar diferentes cantidades de cal al suelo y posteriormente medir el pH de manera a elegir la cantidad de cal en base al pH deseado (Osaki, 1991).

La composición química y la pureza de la cal agrícola determinan la cantidad de ácido que se puede neutralizar por una cantidad de ácido que se puede neutralizar por una cantidad dada de dicho material. La propiedad física conocida como “fineza de partícula” determina la velocidad de reacción y de neutralización de la acidez de la cal agrícola (Alonso, 1982).

La única forma correcta para determinar el material de calcáreo a utilizar es mediante el auxilio de los datos proporcionados por un análisis de suelo, realizado con

un buen sistema de muestreo.

Las determinaciones que se necesitan conocer, a fin de determinar con exactitud la cantidad de cal agrícola a ser aplicada, son: La acidez activa (pH), la acidez extractable o potencial (aluminio + hidrogeno), la textura, el contenido de materia orgánica y el calcio + magnesio intercambiables; todas estas determinaciones son rutinarias y pueden ser ofrecidas por los diferentes laboratorios del ramo en el país (Alonso, 1982).

El poder relativo de neutralización total (PRNT), se obtiene de una evaluación del grado volumétrico de la cal agrícola, que determina su eficiencia granulométrica para reaccionar con las partículas del suelo y el equivalente químico, que es la cantidad equivalente de un compuesto químico que reacciona por determinada cantidad de un compuesto determinado, en este caso de acuerdo al origen de la cal, calcítica, dolomítica, etc.

Se expresa el porcentaje, y es un indicador muy importante a la hora de recomendar la cantidad a aplicar (De Mello, *et al* 1998).

2.7.3 Tipos de encalado

Los tipos de encalado, “ Encalado de Corrección”, que tiene por objetivo elevar el nivel de pH del suelo a un punto entre los 5,0 – 6,5, así como disminuir la cantidad de aluminio intercambiable a niveles por debajo del 15%, donde no es un factor limitante; y en segundo lugar se encuentra el “Encalado de mantenimiento”, en este caso se suplen las necesidades de corrección del pH luego de cada cosecha, allí se corrige para mantener un nivel óptimo en un sistema de rotación de cultivos (Malavolta, 1981).

2.7.4 Las fuentes de correctivos

La cal agrícola de origen caliza, es el material más utilizado para encalar los suelos, está compuesto en su mayoría por carbonatos de calcio con muy poco magnesio. Se obtiene a partir de la roca caliza, roca calcárea o calcita, la cual es molida y pasada por mallas de diferentes tamaños para luego ser empacada en sacos de 23 a 46 kg. En su forma pura contiene 40% de Ca. Las rocas calizas no son puras, ya que pueden contener algunas impurezas que incluyen arcilla, hierro, arena y granos de limo (Espinosa, 1995).

La dolomita pura contiene 21,6% de Ca y el 13,1% de Mg, aunque este material reacciona más lentamente en el suelo que el carbonato de calcio, tiene la ventaja de que suministra Mg, el cual es un elemento que con frecuencia se presenta también deficiente en suelos ácidos.

Las cales magnesianas resultan de mezclar mecánicamente el carbonato de calcio de piedra caliza y el carbonato de magnesio de la piedra magnesita o los silicatos de magnesio de las piedras serpentinas y antigoritas. (Camargo, 1986).

El Óxido de Calcio (CaO), se conoce como cal viva o cal quemada. Es un material muy caustico y de manejo difícil porque puede causar quemaduras al contacto con la piel. Su velocidad de reacción es mayor que el carbonato debido a su mayor concentración de Ca (71% en su forma pura) y a que por ser un óxido, reacciona rápidamente al contacto con el agua provocando una fuerte reacción exotérmica y liberando iones OH^- . Se presenta normalmente como polvo bastante fino y su precio es el más alto que el CaCO_3 (Bertsch, 1986).

La cal hidratada o Hidróxido de Calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$, se conoce como cal apagada o hidratada, y es la forma en que se comercializa el CaO producido por la calcinación. Luego de sacarlo del horno, lo hidratan y empacan.

Es un polvo blanco, con alto grado de solubilidad y de rápida reacción en el

suelo. Presenta 54% de Ca en su forma pura; es un material de mayor costo que el carbonato y con una reacción intermedia entre este y el CaO en neutralizar la acidez del suelo (Malavolta, 1989).

2.7.5 Método de aplicación

El método óptimo de aplicación es incorporar la cal en los primeros 15-20 cm de suelo, utilizando el arado o la rastra.

De esta forma se logra la mezcla del material con la capa del suelo donde se concentran las raíces de la mayoría de los cultivos.

Sin embargo, esto no puede siempre lograrse debido al costo que representa o a que el cultivo está ya establecido, como en el caso de los perennes, por lo que la cal se aplica entonces en la superficie.

Se ha demostrado que las aplicaciones de cal incorporadas son más eficientes, especialmente si el suelo es arcilloso. La distribución es otro aspecto muy importante. La cal debe ser incorporada con arado, esta debe distribuirse en forma uniforme en todo el terreno.

En cultivos perennes con distancias de siembra amplias, la cal debe distribuirse en el área de gotera o rodaja, que es donde se concentran las raíces (Alcarde, 1992).

En los cultivos perennes también resulta muy práctico incorporar un poco de cal en el hoyo de siembra antes de poner la planta, y otro poco en el surco normalmente, el suelo en la banda de fertilización tiende a ser más ácido debido al efecto residual de los fertilizantes nitrogenados, por lo que la aplicación de la cal en ese sitio es una medida eficaz. (Malavolta, 1993).

En vista que la cal requiere de humedad para que reaccione, la época más

apropiada para aplicarla es al inicio de las lluvias un poco antes (Malavolta, 1993).

La aplicación de la cal agrícola se puede realizar antes de la siembra o en coberturas en surcos lineales entre hileras o localizados entre planas, en cualquiera de los casos debe ser realizada respetando las dosis recomendadas. (Enríquez, 1998).

3. METODOLOGIA

El método utilizado en este trabajo fue del tipo experimental cuantitativo porque utiliza la recolección de datos para probar una hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadísticos con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías.(Sampieri.,2014).

3.1 Características generales del área de estudio

3.1.1 Localización

El área de estudio para esta investigación se realizó en dos Departamentos. El primero fue el Departamento Central distrito de Nueva Italia, (Figura 6) y el segundo Departamento fue Alto Paraná distrito de Hernandarias (Figura 8), de la Región Oriental del Paraguay.

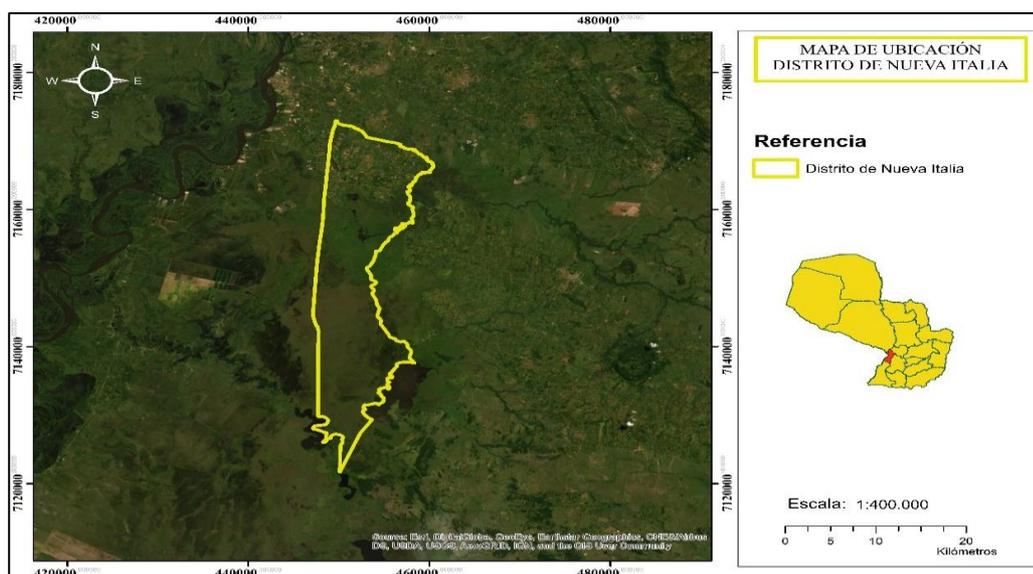


Figura 6. Mapa de ubicación del distrito de Nueva Italia en el Departamento Central.
Fuente: Elaboración Propia

3.2 Característica morfológica del Distrito Nueva Italia. Departamento Central

3.2.1 Orografía

La sierra del Yvytypané cruza el Departamento del área de estudio, teniendo su origen en la cordillera de los Altos, desde donde se dirige al suroeste, formando los cerros de Pirayú, Yaguarón, Cerrito y Ñemby, y concluye en los cerros Lambaré y Tacumbú, donde se crean los valles de Pirayú, Ypacaraí y Areguá (Atlas, 2011).

3.2.2 Hidrografía

El principal curso de agua es el río Paraguay, y son afluentes que riegan la zona el río Salado, el lago Ypacaraí, y los arroyos Itay, Ytororó, Avay y Paray. Se ubican también en este departamento el lago Ypoá y la laguna Cabral. Vierten sus aguas en el lago Ypacaraí el arroyo Yuquyry, el Caañabé y sus afluentes. Los arroyos Yyquyty y el Ñandúa confluyen en los esteros del Ypoá (Atlas, 2011).

3.2.3 Clima

El clima y la vegetación son característicos para áreas específicas, diferenciándose principalmente en las zonas elevadas de los valles. En las primeras, presentan más bien un clima seco y ventoso, y que por escases de suelo desarrolla una vegetación arbustiva y gramínea (Atlas, 2011).

Los valles se caracterizan por microclimas húmedos, con escasa vegetación. los valles de Acahay e Ypacaraí normalmente húmedos desarrollan vegetación gramínea y hasta arbustiva, en casi toda su extensión (González & Bartel, 1998).

El clima en esta zona es suave, y generalmente cálido y templado. Presenta precipitaciones significativas. Incluso en el mes más seco hay mucha lluvia. La temperatura media anual es de 22.8 ° C. La precipitación es de 1392 mm al año (*Climate-Data.Org*, 2019).

3.2.4 Taxonomía de suelo

El suelo característico del distrito de Nueva Italia, de acuerdo a la clasificación de la soil taxonómica corresponde a un orden ultisol, son suelos minerales con horizontes aluviales de arcilla y baja saturación de las bases menor al 35%. (López *et.al.*, 1998) (Figura 7).

<p style="text-align: center;">Universidad Nacional de Asunción Facultad de Ciencias Agrarias Area de Suelos y Ordenamiento Territorial Laboratorio de Servicio al Público Planilla de resultados de análisis de suelos</p>																																																	
Propietario: GUSTAVO ARIEL PERALTA MORENO				Departamento: CENTRAL				Distrito: NUEVA ITALIA				Fecha: 14/08/19																																					
Nº	Lab.	Código	Prof. cm.	pH	Mat.Org. %	P mg/kg	Ca ²⁺ mg/kg	Mg ²⁺ mg/kg	K ⁺ mg/kg	Na ⁺ mg/kg	Al ³⁺ +H ⁺ mg/kg	Clase Textural	Color Munsell Descripción																																				
19	40	Muestra N° 1	0-20	4,6	0,6	3,0	1,23	0,32	0,12	0,02	1,25	Arenosa	7,5 YR 6/4 Marrón																																				
<p><i>La siguiente tabla le ayudará a interpretar los resultados</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nivel</th> <th>Mat. Org.</th> <th>P</th> <th>Ca²⁺</th> <th>Mg²⁺</th> <th>K⁺</th> <th>Na⁺</th> <th>Al³⁺+H⁺</th> <th>pH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bajo</td> <td>< 1,2</td> <td>< 12</td> <td>< 2,51</td> <td>< 0,4</td> <td>< 0,12</td> <td>< 1,5</td> <td>< 0,4</td> <td>< 5,6</td> </tr> <tr> <td>Medio</td> <td>1,2 - 2,8</td> <td>12 - 30</td> <td>2,51 - 6,0</td> <td>0,4 - 0,8</td> <td>0,12 - 0,17</td> <td>1,5 - 3,0</td> <td>0,4 - 0,9</td> <td>5,6 - 6,5</td> </tr> <tr> <td>Alto</td> <td>> 2,8</td> <td>> 30</td> <td>> 6,0</td> <td>> 0,8</td> <td>> 0,17</td> <td>> 3,0</td> <td>> 0,9</td> <td>> 6,5</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">Pro.FMSc. Higinio Moreno Resquin Jefe Laboratorio de Suelos de La FCA-UNA</p> <p><i>Observación: Los resultados analíticos corresponden a las muestras recibidas en nuestro laboratorio</i></p>														Nivel	Mat. Org.	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ +H ⁺	pH	Bajo	< 1,2	< 12	< 2,51	< 0,4	< 0,12	< 1,5	< 0,4	< 5,6	Medio	1,2 - 2,8	12 - 30	2,51 - 6,0	0,4 - 0,8	0,12 - 0,17	1,5 - 3,0	0,4 - 0,9	5,6 - 6,5	Alto	> 2,8	> 30	> 6,0	> 0,8	> 0,17	> 3,0	> 0,9	> 6,5
Nivel	Mat. Org.	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ +H ⁺	pH																																									
Bajo	< 1,2	< 12	< 2,51	< 0,4	< 0,12	< 1,5	< 0,4	< 5,6																																									
Medio	1,2 - 2,8	12 - 30	2,51 - 6,0	0,4 - 0,8	0,12 - 0,17	1,5 - 3,0	0,4 - 0,9	5,6 - 6,5																																									
Alto	> 2,8	> 30	> 6,0	> 0,8	> 0,17	> 3,0	> 0,9	> 6,5																																									

Figura 7. Resultado de análisis químico y físico del suelo del Distrito Nueva Italia,
Fuente: Laboratorio de Suelos. FCA

3.3 Característica morfológica del Distrito Hernandarias, Departamento Alto Paraná

3.3.1 Departamento de Alto Paraná

El Departamento de Alto Paraná, ubicado al este de la región Oriental, está comprendido entre los paralelos 24°30' y 26°15' de latitud sur y los meridianos 54°20' y 55°20' de longitud oeste. Limita al norte con Canindeyú, al oeste con Caaguazú y Caazapá, al sur con Itapúa, y al este el río Paraná lo separa de Brasil y Argentina. (Atlas 2011).

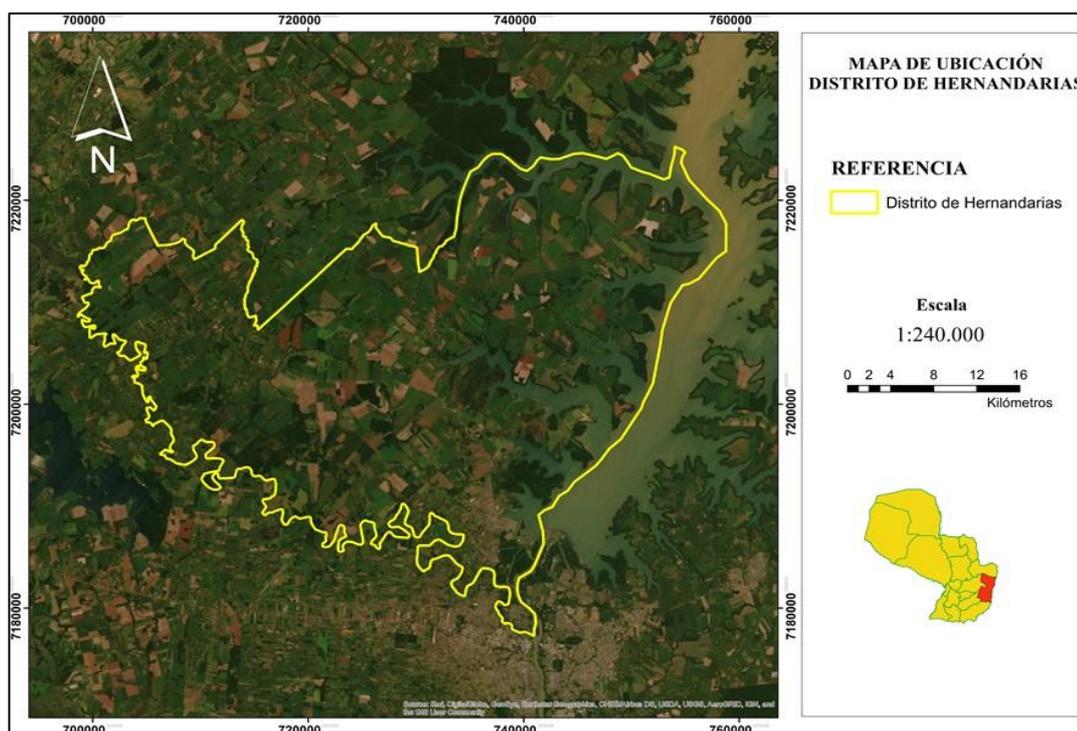


Figura 8. Mapa de ubicación del distrito de Hernandarias en el Departamento de Alto Paraná.

Fuente: Elaboración Propia.

3.3.2 Orografía

La orografía de esta área forma parte de las últimas salientes de las sierras de San Rafael, de Itapúa y las de San Juan Nepomuceno, de Caazapá, que penetran en el territorio de Alto Paraná en las regiones fronterizas con estos departamentos. No existen desprendimientos significativos de estas sierras (Atlas, 2011).

3.3.3 Hidrografía

El río Paraná y sus principales afluentes: Itambey, Limoy, Yguazú, Acaray, Monday, Yacuy Guazú, Ypety y Ñacunday, así como numerosos arroyos, conforman el sistema hídrico. Los ríos Paraná y Acaray son utilizados por las hidroeléctricas Itaipú y Acaray respectivamente, situación que lo convierte en el Departamento con mayor energía hidroeléctrica del país. Los ríos Monday y Ñacunday son también potenciales generadores de energía electrohidráulica (Atlas, 2011).

3.3.4 Clima

La estación meteorológica del departamento indica que en el año 2002 la temperatura media anual fue de 23°C, con media máxima de 29°C y mínima de 19°C. La precipitación total en este mismo lapso llegó a 1.990 mm, una de las mayores a nivel nacional. Las frecuentes lluvias producen gran humedad ambiental, muy favorable para los cultivos agrícolas (Atlas Censal del Paraguay, 2011).

3.3.5 Taxonomía de suelo

El suelo característico del distrito de Hernandarias, de acuerdo a la clasificación de la soil taxonómica corresponde a un orden oxisol, suelos minerales altamente evolucionados, con muy pocos minerales meteorizables y con porcentaje de arcilla mayor a 38 % (López *et.al.*, 1998) (Figura 9).

<p style="text-align: center;">Universidad Nacional de Asunción Facultad de Ciencias Agrarias Area de Suelos y Ordenamiento Territorial Laboratorio de Servicio al Público Planilla de resultados de análisis de suelos</p>																																																															
Propietario:		GUSTAVO ARIEL PERALTA MORENO				Distrito:			HERNANDARIAS			Fecha:		09/08/19																																																	
Departamento:		ALTO PARANA																																																													
Nº Lab.	Código	Prof. cm.	pH	Mat.Org. %	P mg/kg	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ +H ⁺	Clase Textural	Color Munsell	Descripción																																																		
19 40	Muestra Nº 2	0-20	4,28	2,7	12,7	4,58	0,90	0,27	0,02	1,45	Arcillosa	5 YR 3/4	Rojizo Oscuro																																																		
<p>La siguiente tabla le ayudará a interpretar los resultados</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nivel</th> <th>Mat. Org.</th> <th>P</th> <th>Ca⁺²</th> <th>Mg⁺²</th> <th>K⁺</th> <th>Na⁺</th> <th>Al+H⁺</th> <th>pH</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bajo</td> <td>< 1,2</td> <td>< 12</td> <td>< 2,51</td> <td>< 0,4</td> <td>< 0,12</td> <td>< 1,5</td> <td>< 0,4</td> <td>< 5,6</td> <td>Acido</td> </tr> <tr> <td>Medio</td> <td>1,2 - 2,8</td> <td>12 - 30</td> <td>2,51 - 6,0</td> <td>0,4 - 0,8</td> <td>0,13 - 0,17</td> <td>1,5 - 3,0</td> <td>0,4 - 0,9</td> <td>5,6 - 6,4</td> <td>Lig. Acido</td> </tr> <tr> <td>Alto</td> <td>> 2,8</td> <td>> 30</td> <td>> 6,0</td> <td>> 0,8</td> <td>> 0,17</td> <td>> 3,0</td> <td>> 0,9</td> <td>6,5 - 7,4</td> <td>Neutro</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>> 7,4</td> <td>Alcalino</td> </tr> </tbody> </table> <p>Prof.MSc.Higinio Moreno Resquin Jefe Laboratorio de Suelo FCA-UNA</p> <p><i>Observación: Los resultados analíticos corresponden a las muestras recibidas en nuestro laboratorio</i></p>														Nivel	Mat. Org.	P	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al+H ⁺	pH		Bajo	< 1,2	< 12	< 2,51	< 0,4	< 0,12	< 1,5	< 0,4	< 5,6	Acido	Medio	1,2 - 2,8	12 - 30	2,51 - 6,0	0,4 - 0,8	0,13 - 0,17	1,5 - 3,0	0,4 - 0,9	5,6 - 6,4	Lig. Acido	Alto	> 2,8	> 30	> 6,0	> 0,8	> 0,17	> 3,0	> 0,9	6,5 - 7,4	Neutro									> 7,4	Alcalino
Nivel	Mat. Org.	P	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al+H ⁺	pH																																																							
Bajo	< 1,2	< 12	< 2,51	< 0,4	< 0,12	< 1,5	< 0,4	< 5,6	Acido																																																						
Medio	1,2 - 2,8	12 - 30	2,51 - 6,0	0,4 - 0,8	0,13 - 0,17	1,5 - 3,0	0,4 - 0,9	5,6 - 6,4	Lig. Acido																																																						
Alto	> 2,8	> 30	> 6,0	> 0,8	> 0,17	> 3,0	> 0,9	6,5 - 7,4	Neutro																																																						
								> 7,4	Alcalino																																																						

Figura 9. Resultado de análisis químico y físico del suelo del Distrito Hernandarias, Departamento Alto Paraná.

Fuente: Laboratorio de suelos FCA

3.4 Materiales y Métodos

3.4.1 Trabajo de laboratorio

El trabajo fue realizado en el laboratorio de Suelos del Área del suelo y Ordenamiento territorial, de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Asunción San Lorenzo, Paraguay.

- **Materiales, Equipos y Reactivos para la determinación del pH.**

- ✓ Vasos de plástico de 100 ml.
- ✓ Varillas de vidrio.
- ✓ Piseta

- **Equipos.**

- ✓ Potenciómetro (pH metro).
- ✓ Balanza.

- **Reactivos.**

- ✓ Agua destilada.
- ✓ Soluciones buffer de pH 4; 7 y 10.

- **Materiales, Equipos y Reactivos para la determinación Acidez intercambiable ($\text{Al}^{+3} + \text{H}^{+}$).**

- ✓ Tubos para centrífuga de 50 ml.
- ✓ Micropipetas de 10 ml.
- ✓ Dispensadores.
- ✓ Matraz de 2 litros.
- ✓ Vasos de precipitado.
- ✓ Varillas de vidrio.
- ✓ Bureta automática.
- ✓ Gotero.
- ✓ Frascos erlenmeyer de 125 ml.

- **Equipos.**

- ✓ Balanzas de precisión de 2 y 4 decimales.
- ✓ Agitador.
- ✓ Centrífuga

- **Reactivos.**

- ✓ Cloruro de Potasio (KCl).
- ✓ Hidróxido de Sodio (NaOH).
- ✓ Fluoruro de Sodio (NaF).
- ✓ Ácido Sulfúrico (H₂SO₄).
- ✓ Fenolftaleína

a) **Primera fase:** El suelo recolectado fue extendido y secado, de tal manera a tener una homogeneidad, luego se procedió al tamizado con una malla de tamiz de 2mm, donde fueron separados las impurezas y restos de vegetación.(Figura 10)



Figura 10: Extensión y secado de muestras de suelos por tres días

Fuente: Elaboración Propia

b) **Segunda fase:** análisis de la cal agrícola. Se procedió a pesar 150 g de la diferente cal, posteriormente se dejó por 24 horas en la estufa, para la determinación física de PRNT (poder relativo de neutralización total) y químico Ca O; MgO (Figura 11)

Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Agrarias

Area de Suelos y Ordenamiento Territorial
Laboratorio de Servicio al Público

Planilla de resultados de análisis de Cal Agrícola

Propietario: GUSTAVO ARIEL PERALTA MORENO
Remitente: GUSTAVO ARIEL PERALTA MORENO FECHA: 25/07/2019

N° Lab.	Código	Fracciones Granulométricas (g)				Eficiencia Relativa (%)	Valor Neutralización (%)	PRNT (%)	CaO (%)	MgO (%)
		> 2,0 mm	2-1 mm	1-0,25 mm	< 0,25 mm					
M1	Caliza	0,00	0,00	5,00	94,00	99,00	99,4	98,00	30,00	19,00
M2	Dolomita	0,00	0,4	8,92	90,68	96,20	80,5	77,40	8,00	22,00
M3	Cachimbo	0,12	2,90	35,20	61,90	83,60	33,5	28,00	4,00	3,00

Prof. MSc. Higinio Moreno Resuín
Jefe
Laboratorio de Suelo-FCA

PRNT: Poder Relativo de Neutralización Total
Observación: Los resultados analíticos corresponden exclusivamente a las muestras recibidas en nuestro laboratorio

Figura11. Análisis físico y químico de la diferente cal agrícola.

Fuente: Laboratorios de suelos FCA

- c) **Tercera fase:** Se procedió a pesar 219g de suelo de cada distrito en frascos de 500ml. Seguidamente se aplicó las dosis de cal agrícola correspondiente a los suelos de cada distrito. Con tres repeticiones (Tabla 3).



Figura 12. Pesaje y aplicación de cal agrícola correspondiente a cada distrito.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez aplicado las primeras tres fases de tratamientos; se procedió a la incubación de los suelos de ambos distritos, por un espacio de 60 días. Durante el mismo se realizó la aplicación de riego de manera a facilitar la reacción de cal agrícola en el suelo.

3.4.2 Cuarta fase Determinación de pH y Aluminio intercambiable del suelo

- **Acidez activa (pH)**

- Resumen del método.

La actividad del ion H^+ en el suelo se estima mediante la medición del pH en el sobrenadante de una suspensión de suelo en agua, en cloruro de calcio 0,01 M o en cloruro de potasio 1 M.

- **Procedimiento de análisis.**

Pesar 20 g de TFSA y colocar en vasos de 100 ml (En caso de requerirse también pH en KCl y $CaCl_2$, pesar dos tandas de cada muestra).

Agregar a la primera tanda de vasos con la ayuda de un dispensador, 20 ml de agua destilada y dejar reposar los mismos por una hora, agitando ocasionalmente con una varilla de vidrio (una a dos veces).

Si se pesó una segunda tanda, agregar a cada vasito con la ayuda de un dispensador, 20 ml de KCl 1M y dejar reposar el mismo durante 1 hora agitando ocasionalmente con una varilla de vidrio (En caso de ser solicitado pH en KCl).

Encender el potenciómetro con una hora de anticipación a las lecturas, posteriormente calibrar el mismo según normas del equipo utilizado, usando las soluciones buffer de pH 4; 7 y 10.

Agitar con una varilla de vidrio cada muestra por 30 segundos y después de 1 minuto leer el pH en agua (1:1) colocando la punta del electrodo justo por encima del sedimento del suelo para mantener la uniformidad.

Levantar el electrodo y con la ayuda de una piseta lavar el mismo recogiendo

el líquido en un vaso para el efecto. Dejar la varilla de vidrio dentro del vaso conteniendo la muestra del suelo.

En las muestras donde fue determinado pH en agua, agregar 20 ml de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,02M y agitar nuevamente cada uno por 30 segundos con la misma varilla de vidrio. Luego de esperar 1 minuto colocar el electrodo del pH metro justo por encima del sedimento del suelo y leer el pH en CaCl_2 0,01M.

Traer la tanda de muestras para pH en KCL 1M

Agitar cada muestra por 30 segundos con una varilla de vidrio.

Esperar 1 minuto y leer el pH en KCl 1M colocando la punta del electrodo justo por encima del sedimento.

- **Acidez intercambiable ($\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$):**

- **Resumen del método.**

Los iones de aluminio e hidrógeno son desplazados de los sitios de intercambio de los coloides del suelo con una solución de Cloruro de Potasio (KCl) 1 M. La concentración de estos iones es luego determinada mediante titulación con Hidróxido de Sodio (NaOH) 0,05 M.

- **Preparación de reactivos.**

- ✓ Cloruro de Potasio (KCl) 1M. 2 Litros.
- ✓ En un vaso de precipitado de 2000 ml agregar aproximadamente 1500 ml de agua destilada.
- ✓ Pesar 149,12 g. del KCl y transferir al vaso de precipitado.
- ✓ Agitar con una varilla de vidrio.
- ✓ Transferir a un matraz aforado de dos litros y enrasar con agua destilada.

- ✓ Transferir a un recipiente limpio y seco.
- ✓ Etiquetar (reactivo, concentración, fecha, nombre del preparador).

- **Hidróxido de Sodio (NaOH) 0,05 M. 2 Litros.**

- ✓ En un matraz aforado de 2000 ml agregar aproximadamente 1500 ml de agua destilada
- ✓ Pesar 4 g. de NaOH y transferir al matraz.
- ✓ Agitar con movimientos circulares.
- ✓ Enrasar con agua destilada.
- ✓ Transferir a un recipiente limpio y seco.
- ✓ Estandarizar.
- ✓ Etiquetar (reactivo, concentración, fecha, nombre del preparador).

- **Fenolftaleína al 1%. 100 ml.**

- ✓ En un matraz aforado de 100 ml agregar aproximadamente 50 ml de etanol
- ✓ Pesar 1 g. de Fenolftaleína y transferir al matraz.
- ✓ Agitar con movimientos circulares.
- ✓ Enrasar con etanol.
- ✓ Transferir a un recipiente limpio y seco.
- ✓ Etiquetar (reactivo, concentración, fecha, nombre del preparador).

- **Fluoruro de Sodio (NaF) 1M. 2 Litros.**

- ✓ En un vaso de precipitado de 2000 ml agregar aproximadamente 1500 ml de agua destilada.
- ✓ Pesar 83,98 g. de NaF y transferir al vaso de precipitado.
- ✓ Agitar con una varilla de vidrio.
- ✓ Transferir a un matraz aforado de dos litros y enrasar con agua destilada.
- ✓ Transferir a un recipiente limpio y seco.
- ✓ Etiquetar (reactivo, concentración, fecha, nombre del preparador).

- **Ácido Sulfúrico (H₂SO₄) 0,05 N. 2 Litros.**

- ✓ En un matraz aforado de 2000 ml agregar aproximadamente 1500 ml de agua destilada.
- ✓ Agregar 2,776 ml de H₂SO₄ concentrado (d=1,84; P=96%; M= 18,10), con la ayuda de una pipeta automática. (Observación: Si el ácido sulfúrico no tuviera las especificaciones citadas, calcular su concentración inicial para luego determinar la cantidad que se debe agregar. Ver preparación de reactivos de uso general).
- ✓ Agitar con movimientos circulares.
- ✓ Enrasar con agua destilada.
- ✓ Transferir a un recipiente limpio y seco.
- ✓ Estandarizar.
- ✓ Etiquetar (reactivo, concentración, fecha, nombre del preparador).

- **Procedimiento de análisis.**

- ✓ Pesar 5 gramos de TFSA y transferirla a un tubo para centrifuga de 50 ml.
- ✓ Preparar también dos blancos que recibirán solamente el reactivo.
- ✓ Agregar a cada tubo 50 ml de KCl 1M con ayuda de un dispensador.
- ✓ Agitar los tubos que contienen las muestras por 30 minutos.
- ✓ Centrifugar los tubos por 2 minutos a 2.000 r.p.m.
- ✓ Tomar una alícuota de 20 ml del líquido sobrenadante y colocar en un erlenmeyer y agregar 2 a 3 gotas de fenolftaleína.
- ✓ Preparar la bureta automática y titular la solución con NaOH 0,05N estandarizado hasta que la solución vire a un color rosado que persista por lo menos 30 segundos.
- ✓ Si es necesario conocer la concentración de Al³⁺ por separado, agregar a cada frasco erlenmeyer 10 ml de Fluoruro de Sodio 1M incluyendo los dos blancos.
- ✓ Titular la solución con H₂SO₄ 0,05N hasta que el color desaparezca completamente y persista por lo menos durante 30 segundos.
- ✓ Adicionar una gota de indicador, si el color aparece de nuevo adicionar más ácido hasta que el color rosado desaparezca y no retorne en el lapso de dos minutos.



Figura 13. Pesaje de suelo para las determinaciones de pH y Aluminio intercambiable.

Fuente: Elaboración Propia

Una vez obtenido los resultados se realizaron los análisis geo estadísticos ANAVA para determinar si hubo o no diferencia significativas entre los tratamientos, así mismo se realizaron la comparación de medias por el test de Tukey al 5%. (Anexo1)

Tabla2. Cantidad de Cal agrícola utilizada en los suelos de Nueva Italia Departamento Central y Hernandarias Departamento de Alto Paraná

Tratamiento	Dosis de Cal Agrícola.		
	Caliza CaCO ₃	Marga CaCO ₃ Impuro. Kgha ⁻¹	Dolomita CaMg(CO ₃) ₂
T1	Testigo	Testigo	Testigo
T2	500	500	500
T3	1000	1000	1000
T4	2500	2500	2500
T5	4000	4000	4000
T6	6000	6000	6000

3.4.3 Clasificación de la acidez activa (pH) del suelo

Para la determinación de la acidez activa (pH) de los suelos en el distrito de Hernandarias Departamento de Alto Paraná y el distrito de Nueva Italia Departamento

Central situados en la Región Oriental del Paraguay, se adoptaron niveles de clasificación de pH, que pueden apreciarse en la (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación de pH

Clasificación del pH							
Extrem. Ácido	Fuert. Ácido	Ácido	Moder. Ácido	Lig. Ácido	Neutro	Alcalino	Fuert. Alcalino
< 4,5	4,5 - 4,9	5,0 - 5,4	5,5 - 5,9	6,0 - 6,4	6,5 - 7,5	7,6 - 8,4	> 8,4

Fuente: Modificado por Mello et al. 1988

3.4.3 Necesidad de cal agrícola

La necesidad de cal agrícola se determinó utilizando la acidez intercambiable ($Al^{+3} + H^{+}$) según la Fórmula sugerida por (Malavolta, 1967) y(Mello *et al.* 1988).

$$TM \text{ ha}^{-1} \text{ CaCO}_3 = 2,0 \times Al^{+3} + H^{+}$$

Dónde: 2,0; es una constante del suelo; $Al^{+3} + H^{+}$, es la acidez intercambiable determinada en el análisis de suelo y valor mayor a $0,4 \text{ cmol. kg}^{-1}$

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

En la Tabla 4 se puede observar los efectos de diferentes dosis de cal agrícola sobre el pH y la acidez intercambiable ($Al^{+3} + H^+$), en suelo de textura arcillosa del Distrito de Hernandarias, Departamento Alto Paraná

Tabla 4. Aplicación de diferentes dosis de cal agrícola

Textura arcillosa/Marga		
Tratamiento	pH (\bar{y}^*)	($Al^{+3} + H^+$)
T1 Testigo	4,28 a	1,45
T2 500 kg.ha ⁻¹ (CaCO ₃).	4,44 a	1,40
T3 1000 kg.ha ⁻¹ (CaCO ₃)	4,43 a	1,40
T4 2500 kg.ha ⁻¹ (CaCO ₃)	4,78 b	1,23
T5 4000 kg.ha ⁻¹ (CaCO ₃)	5,00 c	0,98
T6 6000 kg.ha ⁻¹ (CaCO ₃)	5,13 c	0,98
Dolomita		
Tratamiento	pH (\bar{y}^*)	($Al^{+3} + H^+$)
T1 Testigo	4,28 a	1,45
T2 500 kg.ha ⁻¹ CaMg (CO ₃) ₂	4,29 a	1,41
T3 1000 kg.ha ⁻¹ CaMg (CO ₃) ₂	4,41 a	1,23
T4 2500 kg.ha ⁻¹ CaMg (CO ₃) ₂	4,79 b	1,1
T5 4000 kg.ha ⁻¹ CaMg (CO ₃) ₂	5,5 c	0,0
T6 6000 kg.ha ⁻¹ CaMg (CO ₃) ₂	5,65 c	0,0
Caliza		
Tratamiento	pH (\bar{y}^*)	($Al^{+3} + H^+$)
T1 Testigo	4,28 a	1,45
T2 500 kg.ha ⁻¹ (CaCO ₃)	4,35 a	1,42
T3 1000 kg.ha ⁻¹ (CaCO ₃)	4,61 b	1,12
T4 2500 kg.ha ⁻¹ (CaCO ₃)	5,64 c	0,0
T5 4000 kg.ha ⁻¹ (CaCO ₃)	5,70 c	0,0
T6 6000 kg.ha ⁻¹ (CaCO ₃)	5,70 c	0,0

Fuente: Elaboración propia. (*), Promedio; seguidos por letras diferentes en la columna indican diferencia significativa por la prueba de tukey al 5% de probabilidad del error.

Efectos de diferentes dosis de cal agrícola sobre el pH y la acidez intercambiable ($Al^{3+} + H^+$) de suelo de textura arenosa del distrito de Nueva Italia Departamento Central.

Tabla 5. Aplicación de diferentes dosis de cal agrícola

Textura arenosa/Marga		
Tratamiento	pH(\bar{y}^*)	($Al^{3+} + H^+$)
T1 Testigo	4,66 a	1,23
T2 500 kg.ha ⁻¹ (CaCO ₃)	4,96 b	0,99
T3 1000 kg.ha ⁻¹ (CaCO ₃)	5,40 c	0,1
T4 2500 kg.ha ⁻¹ (CaCO ₃)	5,60 d	0,0
T5 4000 kg.ha ⁻¹ (CaCO ₃)	5,70 e	0,0
T6 6000 kg.ha ⁻¹ (CaCO ₃)	5,70 e	0,0
Dolomita		
Tratamiento	pH(\bar{y}^*)	($Al^{3+} + H^+$)
T1 Testigo	4,66 a	1,23
T2 500 kg.ha ⁻¹ CaMg (CO ₃) ₂	4,80 b	1,40
T3 1000 kg.ha ⁻¹ CaMg (CO ₃) ₂	4,90 c	1,30
T4 2500 kg.ha ⁻¹ CaMg (CO ₃) ₂	5,51 c	0,0
T5 4000 kg.ha ⁻¹ CaMg (CO ₃) ₂	5,62 c	0,0
T6 6000 kg.ha ⁻¹ CaMg (CO ₃) ₂	5,71 c	0,0
Caliza		
Tratamiento	pH(\bar{y}^*)	($Al^{3+} + H^+$)
T1 Testigo	4,66 a	1,22
T2 500 kg.ha ⁻¹ (CaCO ₃)	5,30 b	0,99
T3 1000 kg.ha ⁻¹ (CaCO ₃)	5,60 c	0,1
T4 2500 kg.ha ⁻¹ (CaCO ₃)	5,80 d	0,0
T5 4000 kg.ha ⁻¹ (CaCO ₃)	5,80 d	0,0
T6 6000 kg.ha ⁻¹ (CaCO ₃)	5,80 d	0,0

Fuente: Elaboración propia. (*), Promedio; seguidos por letras diferentes en la columna indican diferencia significativa por la prueba de tukey al 5% de probabilidad del error.

4.2 Discusión

En la tabla 4 se puede apreciar que hubo diferencias estadísticas significativas en los resultados de pH y acidez intercambiable con la adición de diferentes dosis de cal agrícola tipo marga en comparación al testigo.

En cuanto a la utilización de la cal agrícola del tipo dolomita, existen una diferencia estadística significativa para todas las dosis creadas, se obtuvo una respuesta favorable, donde con una adicción de $4000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ CaMg}(\text{CO}_3)_2$ el pH aumenta de extremadamente ácido a moderadamente ácido, y la acidez intercambiable ($\text{Al}^{+3}+\text{H}^+$) decrece y es neutralizada en su totalidad.

La efectividad de neutralización aumenta con la aplicación de la cal agrícola del tipo caliza que con una adicción de $2500 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} (\text{CaCO}_3)$, no existen diferencias estadísticas a partir de esta dosis el pH del suelo de 4,28 aumenta a 5,64 y la acidez intercambiable ($\text{Al}^{+3}+\text{H}^+$) decrece y es neutralizada en su totalidad. Es importante mencionar que la acidez intercambiable ($\text{Al}^{+3}+\text{H}^+$) empieza a decrecer a medida que el pH aumenta.

El método de la acidez intercambiable ($\text{Al}^{+3}+\text{H}^+$) es uno de los más utilizados en los laboratorios de suelos y tiene como fin eliminar la cantidad de aluminio tóxico en el suelo y se puede notar que la cantidad de la cal agrícola calculada por este método coincide con la cantidad de cal de este experimento, es decir elimina el aluminio tóxico.

Al aumentar el pH del suelo a valores superiores a 5,5 es de esperar que la acidez intercambiable ($\text{Al}^{+3}+\text{H}^+$) sea cero, según (Meurer 2004), quien menciona que el efecto tóxico del aluminio del suelo desaparece con valores de pH superiores a 5,5.

Para un suelo de textura arcillosa según lo observado en la tabla 3. Nos indica que la cal agrícola de tipo dolomita y caliza, poseen un poder de neutralización total mayor que la cal agrícola del tipo marga. En lo que refiere a la cal del tipo dolomita y

caliza, esta última presenta mayor poder de neutralización total, esto se observa en los valores de tratamiento, que con una adición menor de cal agrícola del tipo caliza, da un aumento de pH mayor que la de la dolomía y neutraliza el aluminio intercambiable ($Al^{+3}+H^{+}$) en su totalidad.

En la tabla 5 los resultados de pH obtenidos por las diferentes cales, demuestran que en la utilización de la cal agrícola del tipo marga existen diferencias estadísticas significativas para todas la dosis creadas, en donde se obtuvo un resultado favorable con los suelos de textura arenosa, este con una adición de $2500\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de marga aumenta el pH y la acidez intercambiable ($Al^{+3} + H^{+}$) decrece y es neutralizada en su totalidad, lo mismo ocurre con la adición de cal agrícola del tipo dolomita y caliza que con una adición de $2500\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, aumenta el pH y la acidez intercambiable es neutralizada en su totalidad. Los datos presentados en la tabla revelan que el suelo testigo presenta una reacción extremadamente acida pH (4,66).El valor más alto de pH alcanzando fue de 5,80 en el experimento con una adición de 2500kg ha^{-1} ($CaCO_3$).

En cuanto a la acidez intercámbiale ($Al^{+3} + H^{+}$), se puede notar que empieza a decrecer a partir de la adición de 2500 kg ha^{-1} con los tres tipos de cal agrícola mencionado anteriormente y la misma siendo neutralizada en su totalidad.

El suelo de textura arenosa del distrito de Nueva Italia Departamento Central muestra un alto poder tampón, asumiendo que es consecuencia de las reservas de cationes acidificantes contenidas en los minerales del suelo según lo expresado por Porta 2003.

Interpretaciones de los niveles de pH en los suelos del distrito de Hernandarias Departamento de Alto Paraná y el distrito de Nueva Italia Departamento Central. de acuerdo a los valores obtenidos de la muestra testigo (Figura 14)

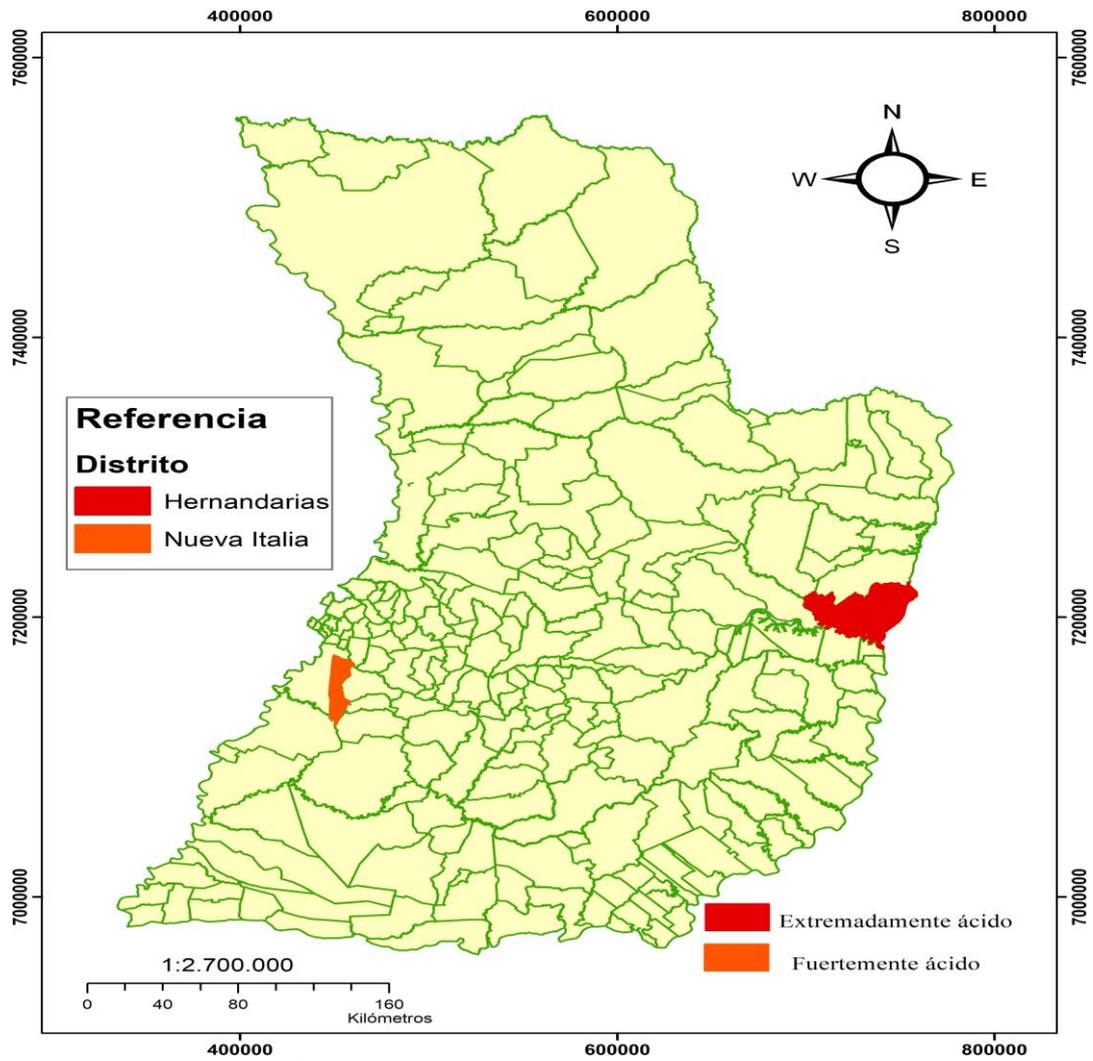


Figura 14. Interpretación de pH de suelos en el distrito de Nueva Italia Departamento Central y el distrito de Hernandarias Departamento de Alto Paraná

Fuente: Elaboración Propia

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Los resultados de la experimentación nos dieron las siguientes conclusiones;

El suelo del distrito Hernandarias con una textura arcillosa y pH 4,20 es extremadamente ácido y tiene la acidez intercambiable ($Al^{+3}+H^{+}$) muy alto, adicionando la cal agrícola del tipo marga con (PRNT 28%), no mostró buena respuesta en pH y aluminio intercambiable en todas las dosis aplicadas, en cambio en la aplicación de la dolomita (PRNT 77%), con una aplicación de 4000 a 6000 kg ha⁻¹ tuvo buena respuesta al elevar el pH y neutralizar la cantidad de aluminio intercambiable. Comparando con la caliza (PRNT 98%), a partir de 2500 kg ha⁻¹ mostro muy buena respuesta al elevar el pH de extremadamente acido a ligeramente ácido y con un valor de trazas de aluminio intercambiable, mostrando una mayor efectividad con la utilización de la caliza como corrector de la a acidez del suelo.

En los suelos de textura arenosa del distrito de Nueva Italia Departamento Central la cal agrícola del tipo marga, dolomita y caliza con una adición de 2500 kg ha⁻¹ mostro un poder de neutralización total del aluminio intercambiable ($Al^{+3}+H^{+}$), con un pH de 5,70, 5,71 y 5,80.

Los suelos estudiados con diferentes texturas demuestran que para aquellas texturas arcillosas > 35 % , la dosis recomendada para elevar el pH de extremadamente acido a ligeramente acido es la aplicación de 2500 kg ha⁻¹ de cal agrícola del tipo caliza y con un PRNT >de 98%, posee una mayor efectividad que las demás cales a la

hora de corregir el pH y de neutralizar la acidez intercambiable ($Al^{+3}+H^{+}$).

Para los suelos de textura arenosa <15% de arcilla, las dosis recomendada es de 1000 kg ha^{-1} preferentemente del tipo caliza PRNT >de 98% por presentan mayor efectividad en el momento de la repuesta de la dosis creada, la marga mostro respuesta interesante para esta textura, lo cual se podría utilizar para dicha textura, así como también la dolomita.

5.2 Recomendaciones

De acuerdo a los resultados también nos permite realizar las siguientes recomendaciones:

Realizar el mismo experimento utilizando, otros suelos ácidos de la Región Oriental, incorporando otras ordenes, así como diferentes posiciones fisiográficas, de manera a disponer de informaciones relevantes sobre la utilización del método de incubación, en los suelos de la Región Oriental del Paraguay y facilitar las recomendaciones de cal agrícola en los mismos.

Promover más investigaciones para identificar los tipos y composición mineralógica de las arcillas de los suelos de la Región Oriental del Paraguay, que permitan estimar la capacidad del suelo a resistir los cambios de pH, y relacionar con los diferentes métodos para calcular los requerimientos de cal agrícola, de manera a ajustar los mismos y asegurar eliminar los efectos negativos de la acidez intercambiable($Al^{+3}+H^{+}$).

Facilitar las informaciones del presente trabajo, a profesionales a fines de ciencias geológicas, profesionales de laboratorio y campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMADA 1998, Pruebas para encaladoras agrícolas. La pampa, AR. Universidad de la pampa.573p.
- ALONSO J.P.1982.Levantamiento de solos para o planeamiento agrícola da bacia do Rio Acaray.Tese Doutor, Piracicaba, Brasil.Escola Superior de Agricultura “Luiz de Querioz “.
- ALONSO J; MORENO, S 1984.Estudio de suelos, eje Coronel Oviedo-Mbutuy.Asuncion (mapas).IBR/OEA/BID.
- ALTIERI, M; NICHOLLS, C.2006.Agroecología: teoría y práctica. 2ª ed. México, MX: Universidad Autónoma De Chapingo.310P.
- ATLAS CENSAL DEL PARAGUAY. Disponible en <https://www.dgeec.gov.py/> (en línea) consultado el 23 de octubre del 2019.
- BERTSCH, F.1995.La fertilidad de los suelos y su manejo. San Jose, CR, ACCS.157p
- CAMARGO, F ,1986. Metodos de análisis químicos, mineralógicos e físicos de solos do Instituto Agronomico de Call Pinas.(Boletin Tecnico N° 106).
- CLIMATE-DATA.ORG. (13 de junio de 2019). Obtenido de es.climate-data.org
- COLÍN W, WHITTKER.M, S, ANDERSON Y R, F,REITEMEIER 1970. El encalado de los suelos, auxiliar para un mejor cultivo México/ Buenos Aires.
- DOMÍNGUEZ 1989.Tratado de Fertilización. Madrid, ES: Mundo-Prensa 613p.
- ESPINOZA, J ,1995. Acidez y encalado de los suelos.Iinformaciones Agronómicas (INPOFOS) 20:6⁻¹⁴.
- FATECHA, A. 1989. Encalado del Suelo. Caacupé: MAG/DIA/IAN. 8p. (Boletín de Divulgación N° 24)
- FATECHA, A. 1999. Guía para la fertilización de cultivos anuales y perennes de la Región Oriental del Paraguay. Caacupé: MAG/SSEA/DIA.
- FATECHA, A.; LÓPEZ, J. 1998. Uso de la Cal Agrícola en el Paraguay. Caacupé: MAG/SSEA/DIA. 29p. (Boletín de Divulgación N° 38).

- FATECHA, D. 2004. Clasificación e la fertilidad, acidez activa (ph) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la región oriental del Paraguay-Tesis Presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asuncion, como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agronomo. San Lorenzo, PY 103p.
- FLORENTÍN, M; PEÑALVA, M; CALEGARI, A; DERPSCH, R, 2001. Abonos verdes y rotación de cultivos en siembra directa: Pequeñas propiedades. Proyecto de Conservación de Suelos. GTZ-MAG/DIA/DEAG San Lorenzo, PY. 84p.
- IAC-(Instituto Agronomica de Campinas). 1996. Recomendacoes da adubacao e calagem para o estado do Sao Paulo, Brasil, 125p.
- LAZCANO, I 2010, Cal Agrícola Conceptos Basicos. (en línea). Consultado el 28 de septiembre del 2019. Disponible en <http://www.google.com.py>.
- LÓPEZ G., O.; GONZALEZ, E.; DE LLAMAS., P.; MOLINAS, A.; FRANCO S.; GARCÍA, S.; RIOS, E. 1995. Estudio de Reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la Región Oriental del Paraguay. Proyecto de Racionalización del uso de la tierra. SSERNMA/MAG/Banco Mundial. Asunción, PY.
- LOPEZ, O.; MOLINAS, A.; VEGA, S.; GALEANO, M. 1996. Fertilidad de Suelos de la Región Oriental del Paraguay. I. Acidez y Necesidad de Encalado. FCA/UNA. San Lorenzo: PY, 35p.
- MAG/IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, PY). 2003. Paraguay: En el mapa competitivo del mundo “ Koa Ikatuta”. Informe final. Agendas subsectoriales y por Áreas Temáticas. (Disco compacto). Asunción. PY
- MALATOVA, E, 1989. ABC DA ADUBACAO. 5º Edicao. Sao Paulo, BR: Agronómica Ceres. 292 p
- MALATOVA, E, 1987, Manual de calagem y adubacao das principais culturas. Sao Paulo BR: 496p
- MALAVOLTA, E. 1967. Manual de Química Agrícola: Abonos e Adubacao. Editora Agronómica Ceres. Sao Paulo, BR. 610p.
- MELLO, F; DE BRASIL, M; DO ARZOLLA, S; SILVEIRA, R; COBRA, A; KIEHL, J, 1988. Fertilidade do solo, 3º ed. Piracocaba, BR. 400 p.
- NUÑEZ LÓPEZ A 2006, 2da Edición Manual de Geología del Paraguay Asunción-Paraguay. 463p
- NÚÑEZ, M. E.; BARTEL, W. (1998). Mapa Geológico de la República del Paraguay. Hoja Paraguarí Asunción, Paraguay 5469.. 42p.

OSAKI, F. 1991, Calagen y Aduacao. 2da. Ed. Curitiba, BR, 503p.

PALMIERI, J. H.; FULFARO, V. J.; ALVARENGA, D.; LOPEZ, A.; BENITEZ, J. C.; GUTIERREZ, M. E.; GOMEZ, D. (1986). Mapa Geologico Del Paraguay. Publicado por el Departamento DE Cooperación Técnica Para EL Desarrollo De Las Naciones Unidas. Asunción, Paraguay. 86 págs.

PORTA .J; M. LÓPEZ - ACEVEDO Y ROQUERO, C.; 2003. Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. 3º edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 960P.

Programa Marco: Programa Marco para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Plata, en Relación con los Efectos de la Variabilidad y el Cambio Climático. CIC: Comité intergubernamental coordinador de los países de la Cuenca del Plata.

ROJAS, A; MOLINA, E; MORALES, F. 1996. Evaluación agronómica de tres fuentes de cal en el cultivo de naranja. In; Congreso Agronómico Nacional. Colegio de Ingenieros Agronomos. San Jose, Costa Rica. Vol.III. 143p.

SAMPIERI, R, H, COLLADO, C, F, YLUCIO, P, (2014). Metodología de la investigación. McGraw-Hill. Edición Sexta 589 p

Toledo, M.; C.; Oliveira, S. M. B. & Melfi, A.J. In Descifrando a Terra, Ed: Teixeira, W.; Toledo, M.C. ; Fairchald, T. & Taioli, F. 2004. Ed. Oficina de Textos, Sao Paulo, Brasil

WIENS, F.; GONZALEZ, E.; LACOUR, C. 1995. Cal Agrícola en Paraguay. Geo Consultores. Asunción, PY. 300p.

ANEXOS

A1. Resultados de los análisis geo estadístico ANAVA.

a) Resultados del análisis geo estadísticos. Suelo de textura arcillosa. Caliza.

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Columna2	18	1,00	0,99	0,94	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7,30	5	1,46	648,86	<0,0001
Columnal	7,30	5	1,46	648,86	<0,0001
Error	0,03	12	2,3E-03		
Total	7,33	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,13009
Error: 0,0023 gl: 12

Columnal	Medias	n	E.E.	
0	4,30	3	0,03	A
500	4,35	3	0,03	A
1000	4,61	3	0,03	B
2500	5,64	3	0,03	C
6000	5,70	3	0,03	C
4000	5,70	3	0,03	C

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

b) Resultado del análisis geo estadístico. Suelo de textura arcillosa. Marga.

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Columna2	18	0,98	0,98	1,07	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,73	5	0,35	139,24	<0,0001
Columnal	1,73	5	0,35	139,24	<0,0001
Error	0,03	12	2,5E-03		
Total	1,76	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,13682
Error: 0,0025 gl: 12

Columnal	Medias	n	E.E.	
0	4,30	3	0,03	A
1000	4,43	3	0,03	A
500	4,44	3	0,03	A
2500	4,78	3	0,03	B
4000	5,00	3	0,03	C
6000	5,13	3	0,03	C

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

c) Resultados del análisis geo estadísticos. Suelo de textura arenosa. Caliza

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Columna2	18	1,00	1,00	0,49	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,10	5	0,62	870,91	<0,0001
Columnal	3,10	5	0,62	870,91	<0,0001
Error	0,01	12	7,1E-04		
Total	3,11	17			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,07313					
Error: 0,0007 gl: 12					
Columnal	Medias	n	E.E.		
0	4,66	3	0,02	A	
500	5,30	3	0,02	B	
1000	5,60	3	0,02	C	
6000	5,80	3	0,02	D	
4000	5,80	3	0,02	D	
2500	5,80	3	0,02	D	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					

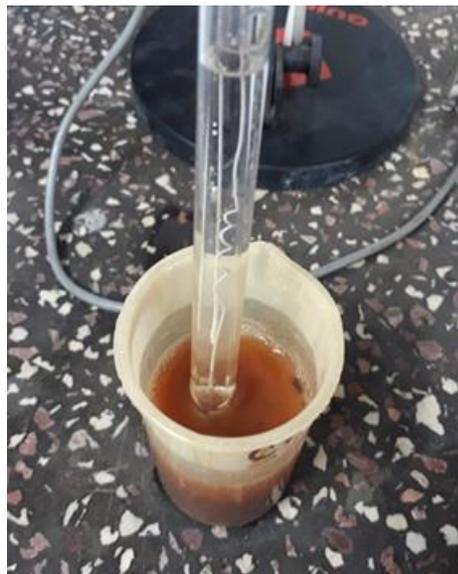
d) Resultado del análisis geo estadístico. Suelo de textura arenosa. Cachimbo (Marga)

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Columna2	18	1,00	0,99	0,61	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,82	5	0,56	531,04	<0,0001
Columnal	2,82	5	0,56	531,04	<0,0001
Error	0,01	12	1,1E-03		
Total	2,83	17			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,08934					
Error: 0,0011 gl: 12					
Columnal	Medias	n	E.E.		
0	4,66	3	0,02	A	
500	4,96	3	0,02	B	
1000	5,40	3	0,02	C	
2500	5,60	3	0,02	D	
6000	5,70	3	0,02	E	
4000	5,70	3	0,02	E	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					

A2. Trabajos realizados en el Laboratorio



A3. Pesaje de suelos del distrito de Hernandarias Departamento de Alto Paraná y del distrito de Nueva Italia Departamento Central.



A4. Determinación de pH de los suelos del distrito de Hernandarias Departamento de Alto Paraná y Distrito de Nueva Italia Departamento Central.



A5. Determinación de pH en suelo de textura arenosa del distrito de Nueva Italia Departamento Central.

