

FERTILIDAD DE LOS SUELOS Y FERTILIZACIÓN DE CULTIVOS DEL SECANO INTERIOR

Nicasio Rodríguez S. Ing. Agrónomo M.S.

Pablo Undurraga D. Ing. Agrónomo

Shigehiko Yoshikawua. Ing Agrónomo

Marcelino Claret M. Diplom. Medio Ambiente

1. INTRODUCCIÓN

El Secano Interior de la VIII región está formada por suelos derivados de materiales graníticos, que se ubican en posición topográfica de cerros y/o lomajes. Los suelos aptos para ser utilizados en cultivos son aquellos que se presentan pendientes moderadas a onduladas y que tienen valores que fluctúan entre 9 y 20%. Existen pequeños sectores de pendientes suavemente onduladas entre 2 a 8%, que permiten el establecimiento de cultivos bajo riego.

La comuna de Ninhue tiene una superficie de 39.000 hectáreas físicas y que debido a sus características agroclimáticas y de topografía presenta una aptitud eminentemente forestal, ganadera, cultivos anuales, fruticultura y de viñedos.

Los suelos, hasta una profundidad de 30 cm, presentan un color pardo oscuro y texturas francas a franca arcillosa y también es posible encontrar suelos de color pardo rojizos de textura arcillosa a mayor profundidad en el perfil. Los orígenes de los suelos son diferentes, y se pueden dividir en derivados de rocas metamórficas (Series Constitución, Pocillas, Maule), de rocas graníticas (Cauquenes, San Esteban) y de posición baja (Quella, Unicaven, Vegas).

Solamente un pequeño porcentaje de estos suelos son arables, sin riesgo de erosión hídrica en pendientes menores al 8%. En pendientes mayores, es recomendable el uso de prácticas conservacionistas, entre las que se destacan la siembra directa sin laboreo del suelo o cero labranza, cultivos en fajas o contornos, la incorporación de residuos vegetales y una adecuada rotación de cultivos.

El estudio de suelos de la Comuna de Ninhue, se hizo sobre la base de una calicata por cada 100 hectáreas. En un lapso de tres años se ha evaluado el 85% de la comuna, quedando aún pendiente el 15% de la superficie. En las calicatas, se describió el perfil del suelo y obtuvieron muestras de los horizontes para analizar sus propiedades químicas y físicas.

En este capítulo, se describirán principalmente las características del primer y segundo horizonte, ya que es el que afecta directamente la actividad productiva. Se han confeccionado mapas de las principales propiedades de fertilidad del primer horizonte.

2. PAISAJE Y TOPOGRAFÍA

El secano interior de la VIII región es una importante área agro ecológica ubicada en la vertiente oriental de la cordillera de la costa y los sectores no regados del valle central. Es una región homogénea que se extiende entre la VII y VIII región abarcando una superficie aproximada de 1.600.000 hectáreas, (del Pozo y del Canto, 1999).

La topografía predominante es levemente ondulada a fuertemente ondulada (Foto 1), con pendientes que en muchos casos limitan o restringen el uso los suelos para determinados cultivos o prácticas agrícolas en un sistema productivo intensivo (Foto 2).



Foto 1. Vista general del paisaje y topografía del secano interior de la comuna de Njnhue.

La vegetación nativa está constituida principalmente por espinos (*Acacia caven*), y vegetación arbustiva y herbácea, en la cual predominan las siguientes especies compuestas (*Leontodón sp.*, *Crepis capillaris*, etc.) gramíneas (*Ballicas*, *Brisa sp.*, *Bromus sp.*) y algunas leguminosas (*Trifolium sp.*, *Medicago sp.*) y geraniáceas (*Erodium sp.*).

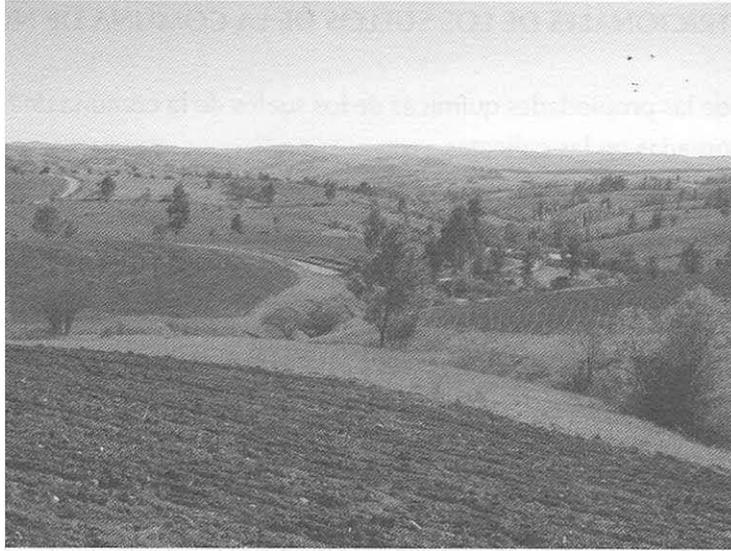


Foto 2. Sistemas de cultivo tradicional del secano, que contribuye a la erosión y deterioro del suelo

La agricultura es fundamentalmente de secano, siendo los principales cultivos: trigo, lupino, arveja y lenteja. La ganadería está constituida por ovinos y bovinos, que utilizan praderas naturales permanentes y en rotación con trigo. También existen algunas praderas establecidas con especies forrajeras como trébol subterráneo y de ballica perenne en menor proporción.

3. LOS SUELOS SUS MATERIALES DE ORIGEN Y CARACTERISTICAS

Los suelos del sector de San José se clasifican en tres grandes grupos: suelos derivados de rocas graníticas, suelos derivados de rocas metamórficas y suelos arcillosos (argílicos).

- **Suelos derivados de rocas graníticas:** Constituidos por rocas en descomposición avanzada hasta gran profundidad, factor que incide fuertemente en el estado actual de erosión y la susceptibilidad que presentan a la erosión hídrica. Generalmente están ubicados en posiciones en altura Serie San Esteban, posición intermedia en altura Serie Cauquenes y aquellos que se encuentran en las posiciones bajas de vegas Series Quipato y Garzas.
- **Suelos derivados de Rocas Metamórficas:** Se encuentran en posiciones de gran pendiente y también en suelos con ondulaciones. Los constituyen suelos derivados de rocas metamórficas muy intemperizadas, en profundidad se encuentran rocas muy descompuestas de alto contenido de sílice. La serie de suelos de mayor importancia es Pocillas.
- **Suelos Arcillosos (Argílicos):** Se encuentran en posiciones bajas, con topografía plana y de gran uniformidad (Vegas). Poseen alto contenido de arcillas en todo el perfil de color gris oscuro, con un substrato de toba muy impermeable y drenaje imperfecto.

4. PROPIEDADES NUTRICIONALES DE LOS SUELOS DE LA COMUNA DE NINHUE

Para efectuar el estudio de las propiedades químicas de los suelos de la comuna de Ninhue, se utilizaron las muestras de suelos tomadas en las calicatas.

Las muestras de suelo fueron secadas al aire por 24 horas hasta peso constante y tamizadas a 2 milímetros, luego se determinó: pH, materia orgánica, nitrógeno disponible, fósforo Olsen, calcio, magnesio, potasio y sodio de intercambio, capacidad efectiva de intercambio de cationes (CICE), hierro, manganeso, zinc, cobre, boro y azufre disponible. Con esto se obtiene un completo diagnóstico de las propiedades de fertilidad.

Para clasificar los niveles de disponibilidad de los diferentes nutrientes y parámetros analizados en los suelos, y como una forma de hacer más comprensible los valores numéricos, se utilizó los parámetros del Laboratorio de Suelos de INIA (Cuadro 1.). Para efecto de apreciar las propiedades químicas se describen en los gráficos de frecuencias los dos primeros horizontes que son los que afectan directamente la fertilidad del suelo.

En el Cuadro 2 se presentan los valores de los principales estadígrafos, que indican el promedio, máximo y mínimo, además de la desviación estándar de cada parámetro del primer horizonte, ya que los del segundo son similares, a excepción de la materia orgánica, que se detallan en las figuras, donde se aprecian las frecuencias de los datos agrupados por rangos de disponibilidad de acuerdo al Cuadro 1.

Cuadro 1. Categorías de disponibilidad de nutrientes para análisis de suelo utilizados por el Laboratorio de Suelos de INIA.

| ANÁLISIS | CATEGORÍA DE DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES | | | | |
|---|---|------------------|-------------------|---------------|---------------------|
| | MODERADAMENTE ÁCIDO | DÉBILMENTE ÁCIDO | LIGERAMENTE ÁCIDO | NEUTRO | DÉBILMENTE ALCALINO |
| pH agua | <5,5 | 5.5 - 6.0 | 6.0 - 6.5 | 6.5 - 7.3 | >7.3 |
| | MUY BAJO | BAJO | MEDIO | ALTO | MUY ALTO |
| Nitrógeno disponible, ppm | <11 | 11 - 21 | 21 - 36 | 36 - 60 | >60 |
| Fósforo disponible, ppm | <5 | 5 - 10 | 10 - 20 | 20 - 30 | >30 |
| Materia Orgánica, % | <1 | 1 - 3 | 3 - 6 | >6 | |
| Potasio Int. cmol(+)/kg ⁻¹ | <0,12 | 0,12 - 0,25 | 0,25 - 0,51 | 0,51 - 0,64 | >64 |
| Calcio de Int. cmol(+)/kg ⁻¹ | <2 | 2 - 5 | 5 - 9 | 9 - 14 | >14 |
| Magnesio de Int. cmol(+)/kg ⁻¹ | <0,26 | 0,26 - 0,51 | 0,51 - 1,01 | 1,01 - 1,81 | >1,81 |
| Aluminio de Int. cmol(+)/kg ⁻¹ | <0,10 | 0,10 - 0,25 | 0,25 - 0,50 | 0,50 - 0,80 | >0,80 |
| Suma de Bases cmol(+)/kg ⁻¹ | <3 | 3 - 6 | 6 - 10 | 10 - 14 | >14 |
| Saturación de Aluminio, % | <2,05 | 2,05 - 5,05 | 5,05 - 10,05 | 10,05 - 15,05 | >15,05 |
| Azufre, ppm | <4,0 | 4,0 - 10,0 | 10,0 - 16,0 | 16,0 - 25,0 | >25,0 |
| Hierro, ppm | <1,0 | 1,0 - 2,51 | 2,51 - 4,51 | >4,51 | |
| Manganeso, ppm | <0,20 | 0,20 - 0,50 | 0,50 - 1,00 | >1,00 | |
| Zinc, ppm | <0,25 | 0,25 - 0,50 | 0,50 - 1,00 | >1,00 | |
| Boro, ppm | <0,20 | 0,20 - 0,50 | 0,50 - 1,00 | >1,01 | |
| Cobre, ppm | <0,10 | 0,10 - 0,30 | 0,30 - 0,50 | >0,50 | |

Cuadro 2. Parámetros estadísticos de los análisis químicos de las muestras del primer horizonte de las calicatas de la comuna de Ninhue.

| | Nº OBS. | PROMEDIO | MÁXIMO | MÍNIMO | DESV. STANDARD | COEF. DE VARIACIÓN % |
|---|---------|----------|--------|--------|----------------|----------------------|
| pH agua | 213 | 6,2 | 7,6 | 5,5 | 0,3 | 5,0 |
| Materia Orgánica, % | 213 | 2,4 | 7,0 | 0,8 | 0,9 | 40,0 |
| Nitrógeno disponible, ppm | 213 | 6,4 | 24,0 | 0,9 | 3,8 | 59,8 |
| Fósforo Olsen, ppm | 213 | 5,6 | 45,0 | 0,6 | 5,3 | 94,4 |
| Potasio disponible, ppm | 212 | 96,0 | 419,8 | 7,0 | 62,7 | 65,3 |
| Azufre disponible, ppm | 213 | 2,3 | 17,8 | 0,1 | 2,0 | 89,7 |
| Calcio de Intercambio cmol(+)kg ⁻¹ | 213 | 4,5 | 14,4 | 0,5 | 2,5 | 55,2 |
| Magnesio de Intercambio cmol(+)kg ⁻¹ | 213 | 1,9 | 8,7 | 0,2 | 1,5 | 75,7 |
| Potasio Intercambiable, cmol(+)kg ⁻¹ | 212 | 0,2 | 1,1 | 0,0 | 0,2 | 69,3 |
| Sodio de Intercambio cmol(+)kg ⁻¹ | 213 | 0,1 | 0,3 | 0,0 | 0,1 | 65,6 |
| Suma de Bases cmol(+)kg ⁻¹ | 213 | 6,8 | 23,4 | 0,9 | 3,9 | 57,6 |
| Aluminio de Intercambio cmol(+)kg ⁻¹ | 213 | 0,0 | 0,4 | 0,0 | 0,0 | 131,8 |
| Zinc, ppm | 213 | 0,8 | 3,4 | 0,1 | 0,6 | 73,4 |
| Hierro, ppm | 213 | 63,1 | 273,5 | 9,2 | 52,2 | 82,8 |
| Cobre, ppm | 213 | 1,4 | 4,8 | 0,3 | 0,7 | 49,2 |
| Manganeso, ppm | 213 | 39,6 | 137,3 | 5,6 | 22,0 | 55,7 |
| Boro, ppm | 212 | 0,2 | 0,8 | 0,1 | 0,1 | 64,7 |

Los promedios presentados en el Cuadro 2 indican una primera aproximación de la fertilidad de los suelos de la comuna de Ninhue, donde se aprecian valores limitantes en los principales nutrientes determinados, como materia orgánica, nitrógeno, fósforo, azufre y boro.

4.1. Materia orgánica

En general los suelos del área estudiada de la comuna de Ninhue debido a las pendientes y a las prácticas agrícolas desarrolladas por varias décadas como: quema de rastrojos, aradura y barbechos prolongados que mantienen el suelo libre de una cubierta vegetal durante el periodo invernal, unido al origen edáfico, han contribuido a que las lluvias erosionen los suelos, perdiéndose gran parte de la capa vegetal. Esto explica los bajos contenidos de materia orgánica encontrados en todos los suelos.

Según el mapa que se adjunta, los suelos tienen porcentajes que fluctúan en un rango entre 0,8 a 7,0% de Materia Orgánica (Cuadro 2). En aquellos suelos que por durante varias décadas han permanecido con praderas naturales, bosquetes nativos, o que presentan una posición geográfica baja, y en donde habitualmente se incorporan los residuos vegetales o rastrojos y guano de corral para la producción de chacarería, se obtienen los mayores porcentajes de materia orgánica. En tanto que los suelos de topografía ondulada a fuertemente ondulada en donde se efectúa la quema de rastrojos y barbechos prolongados registran los porcentajes más bajos de materia orgánica, como resultado de las inadecuadas prácticas agrícolas y erosión a que han estado expuestos por varias décadas. El valor promedio de la materia orgánica en el primer horizonte es de 2.4 %.

En la Figura 1, se presenta el gráfico de frecuencias de casos para cada rango de los contenidos de materia orgánica, donde se puede apreciar que el 94 % de las muestras del primer horizonte están en la categoría de muy bajo y bajo, es decir con contenidos menores al 3%. Este parámetro incidirá por tanto en la disponibilidad de otros nutrientes que dependen o son sinérgicos con la materia orgánica, como el nitrógeno y el azufre. En la Figura 2 se presenta el mapa de distribución espacial donde se aprecia una gran superficie en colores verdes y amarillos que son los suelos que presentan menos de 3% en el primer horizonte. Se destaca además que los sectores amarillos corresponden a concentraciones de pequeña propiedad (contenidos de materia orgánica menores al 2%)

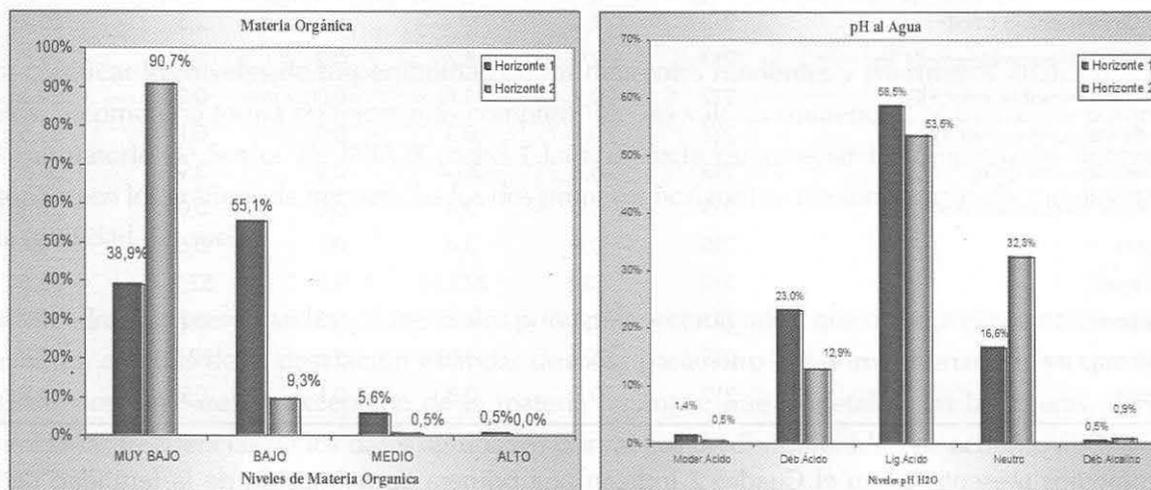


Figura 1. Frecuencia de casos para los rangos de Materia Orgánica (%) y pH en agua de los horizontes 1 y 2 de las calicatas. Comuna de Ninhue.

4.2. Acidez del suelo (pH)

En general la acidez del suelo estudiado, no es un factor limitante para la mayoría de los cultivos y para el establecimiento de huertos frutales. El valor promedio del pH es de 6,2, con fluctuaciones entre 5.5 a 7,6. Sobre el 81,5% de las muestras analizadas presentan un pH ligeramente ácido a neutro, es decir se encuentran en el rango de 6,5 a 7,3 (Figura 3).

Al considerar los niveles de calcio de intercambio medios a bajos y altos de Mg, es necesario aplicar enmiendas de tipo calcita (carbonatos de calcio), para mejorar la relación Ca/Mg cuando es mayor de 10:1.

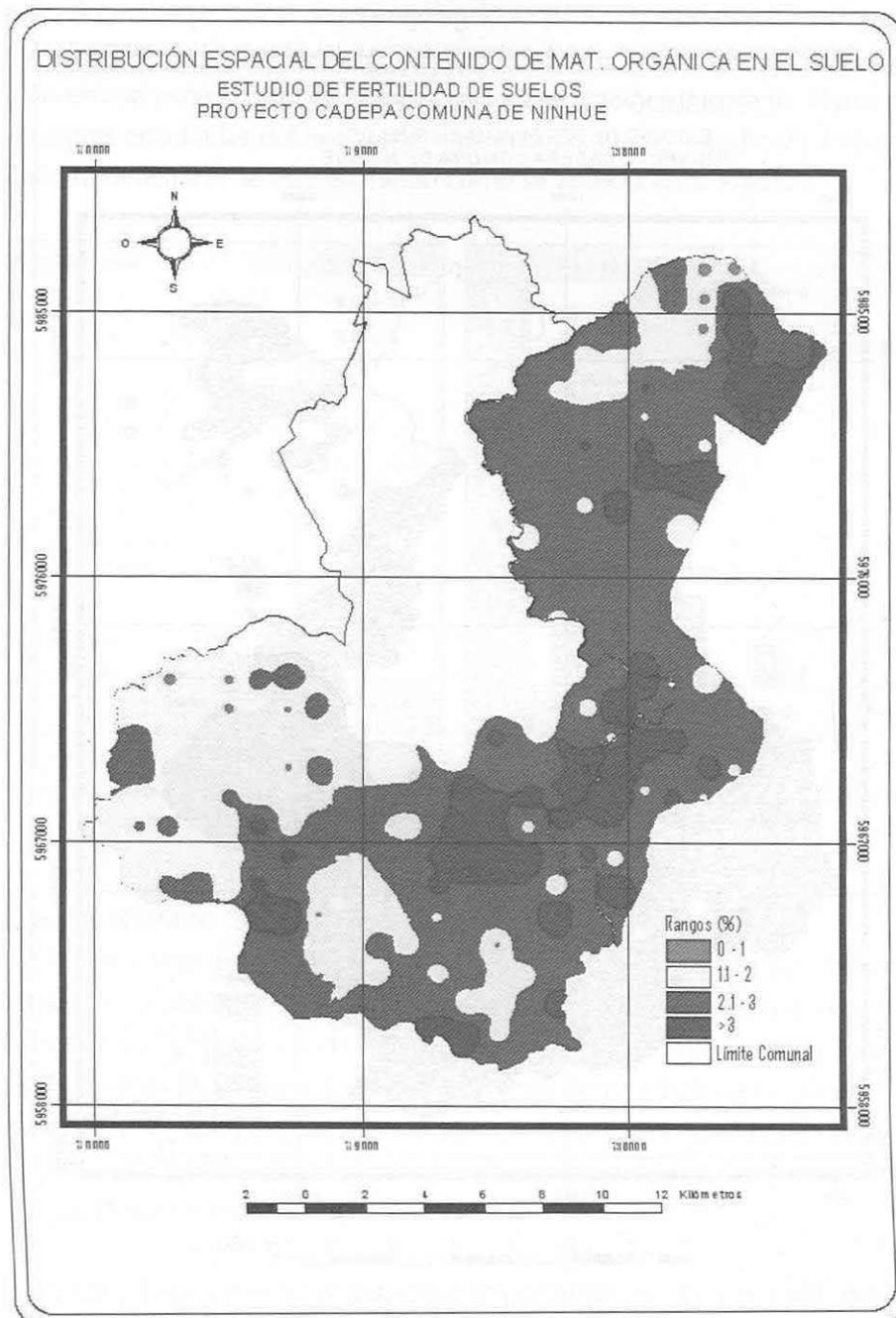


Figura 2. Mapa de distribución del contenido de Materia Orgánica del suelo. Comuna de Ninhue

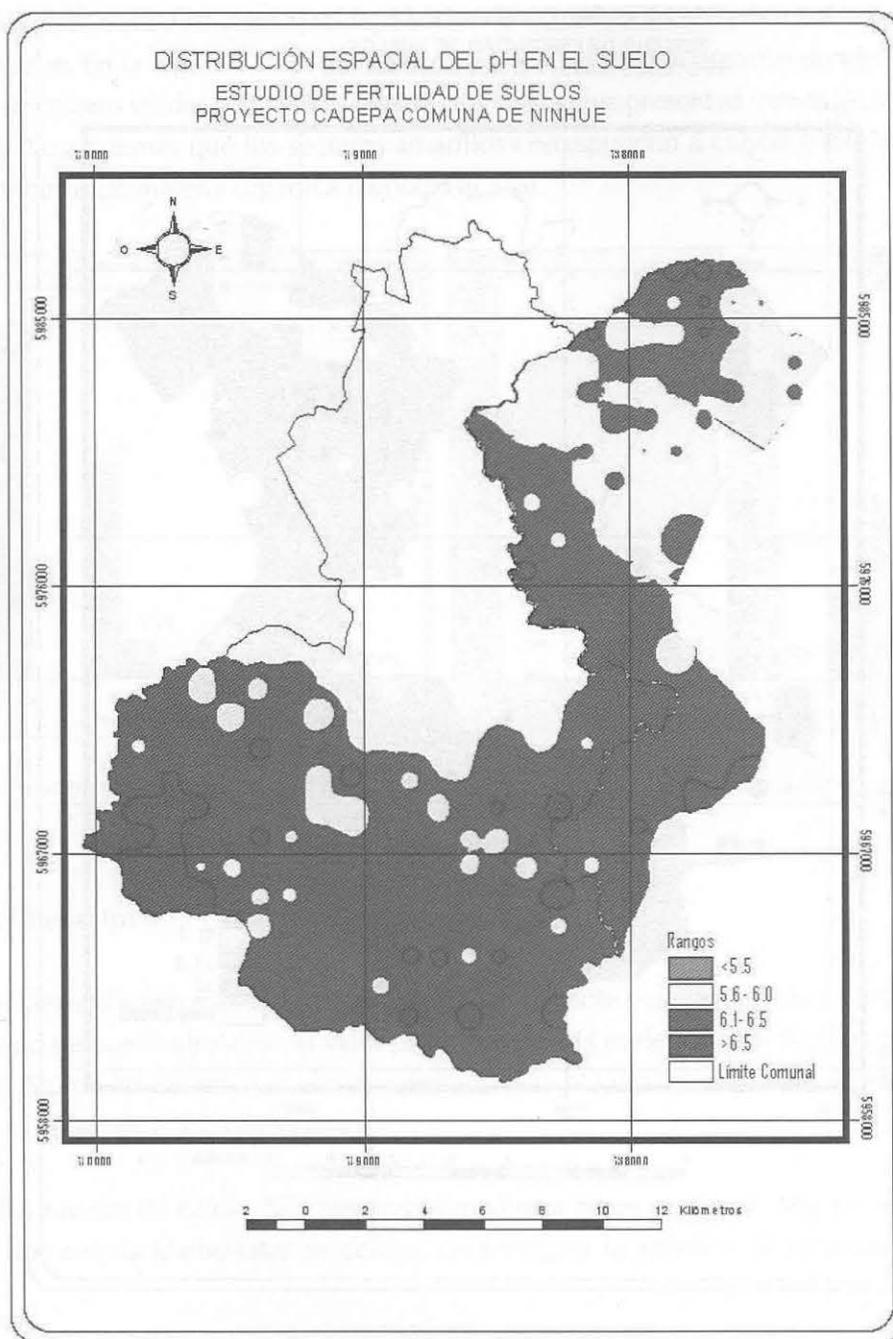


Figura 3. Mapa de distribución de los niveles de acidez (pH en agua) del suelo. Comuna de Ninhue.

4.3. Nitrógeno disponible

Producto de las inadecuadas prácticas de manejo agrícola y los bajos niveles de materia orgánica, se ha obtenido que más del 98% de los suelos presentan niveles de nitrógeno bajos a muy bajos (menores a 21 ppm), con algunas escasas excepciones en que los valores son medios (Figura 4). El promedio de valores para todas las muestras estudiadas del horizonte 1 alcanzan 6.4 ppm (Cuadro 2). Prácticamente toda la comuna se encuentra deficitaria de este elemento como se aprecia en la Figura 5.

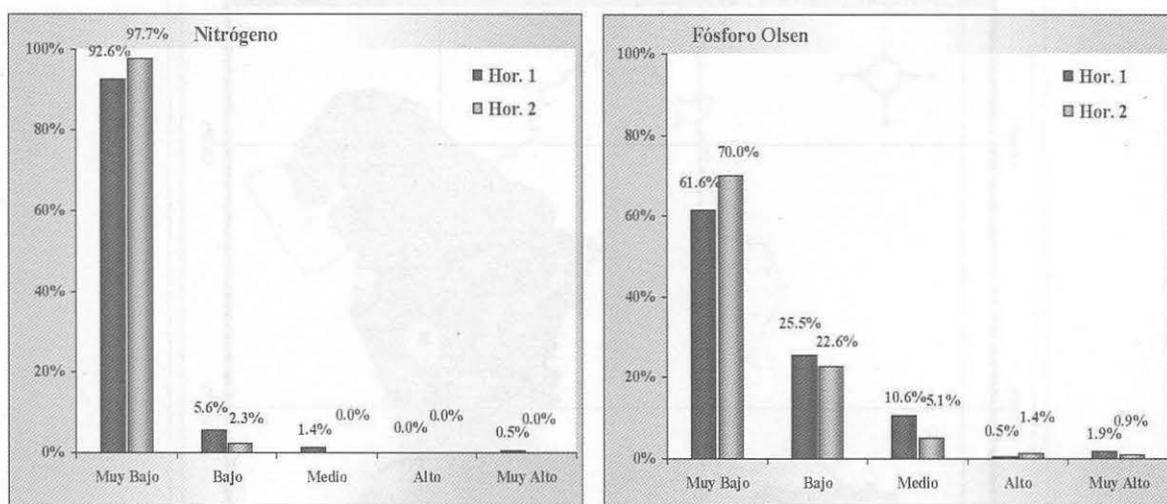


Figura 4. Frecuencia de casos para los rangos de Nitrógeno disponible (ppm) y Fósforo Olsen (ppm) de los horizontes 1 y 2. Calicatas comuna de Ninhue.

4.4. Fósforo disponible (OLSEN)

Más del 87% de las muestras estudiadas presentan niveles muy bajos a bajos de fósforo disponible (Figura 6), con una gran variabilidad, la cual es observada en el alto valor de la desviación estándar (5.3 ppm de P) (Cuadro 2.), con un rango de 0,6 a 45,0 ppm de P disponible. Estas grandes variaciones se deben a que existen algunos sectores en donde la agricultura desarrollada ha considerado rotaciones por varios años de cultivos en los cuales se han ido incorporando cantidades adecuadas de fuentes fosfatadas y un gran sector de la comuna en donde la agricultura ha sido más bien extractiva, con mínimos aportes de este elemento por la vía de fertilizantes.

El fósforo también pasa a ser uno de los nutrientes importantes por la gran cantidad de muestras con contenidos bajos y muy bajos (menos de 8 ppm), como se aprecia en el Figura 6. Prácticamente todo el sector estudiado de la comuna presenta colores rojos y amarillos, salvo excepciones con otros colores que indican las zonas de mayor contenido de P-Olsen. A pesar de esto, éste es un nutriente de fácil corrección vía fertilización, ya que los suelos del sector no son fijadores, solo se debe cuidar la erosión para evitar las pérdidas por escurrimiento superficial.

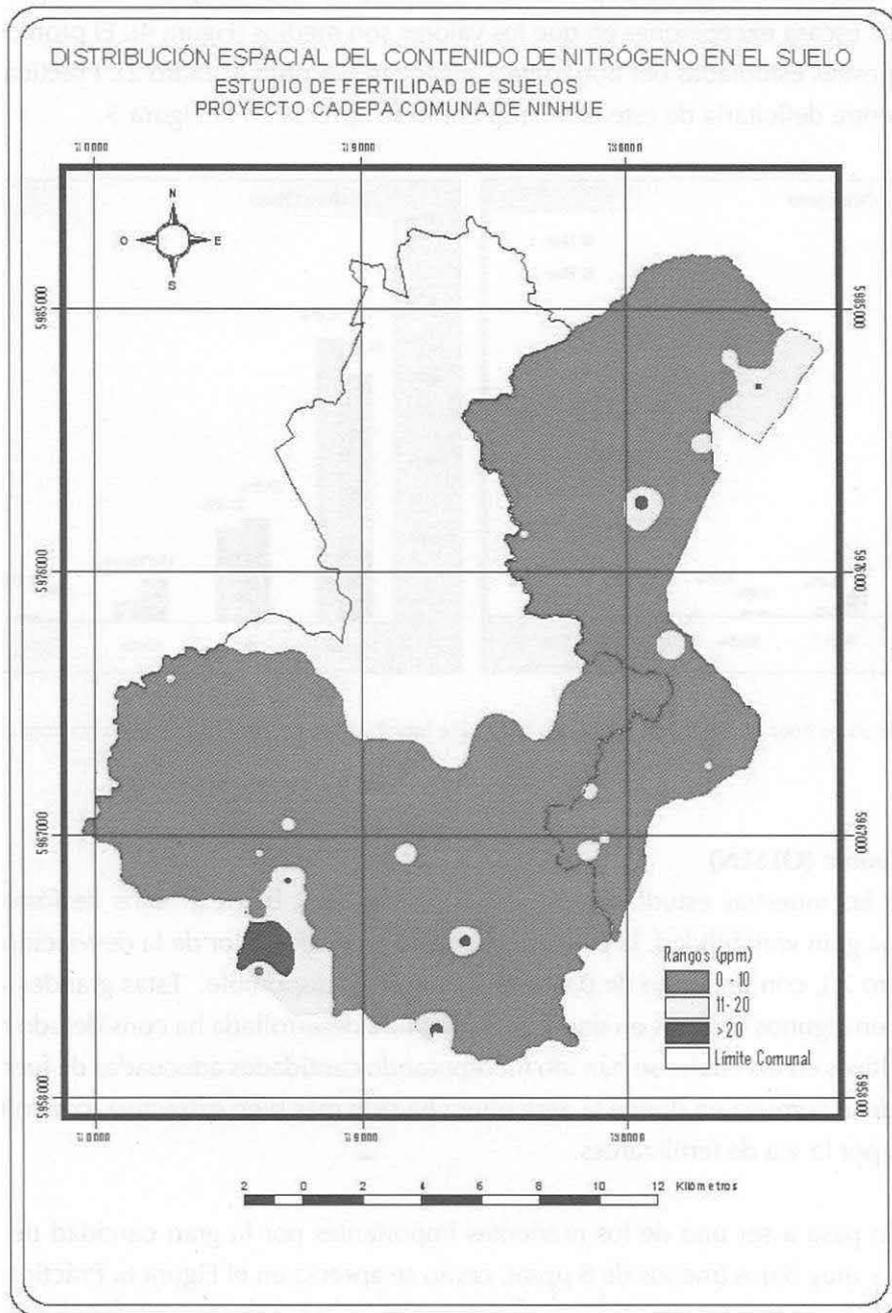


Figura 5. Mapa de distribución de los niveles Nitrógeno disponible (ppm) del suelo. Comuna de Ninhue.

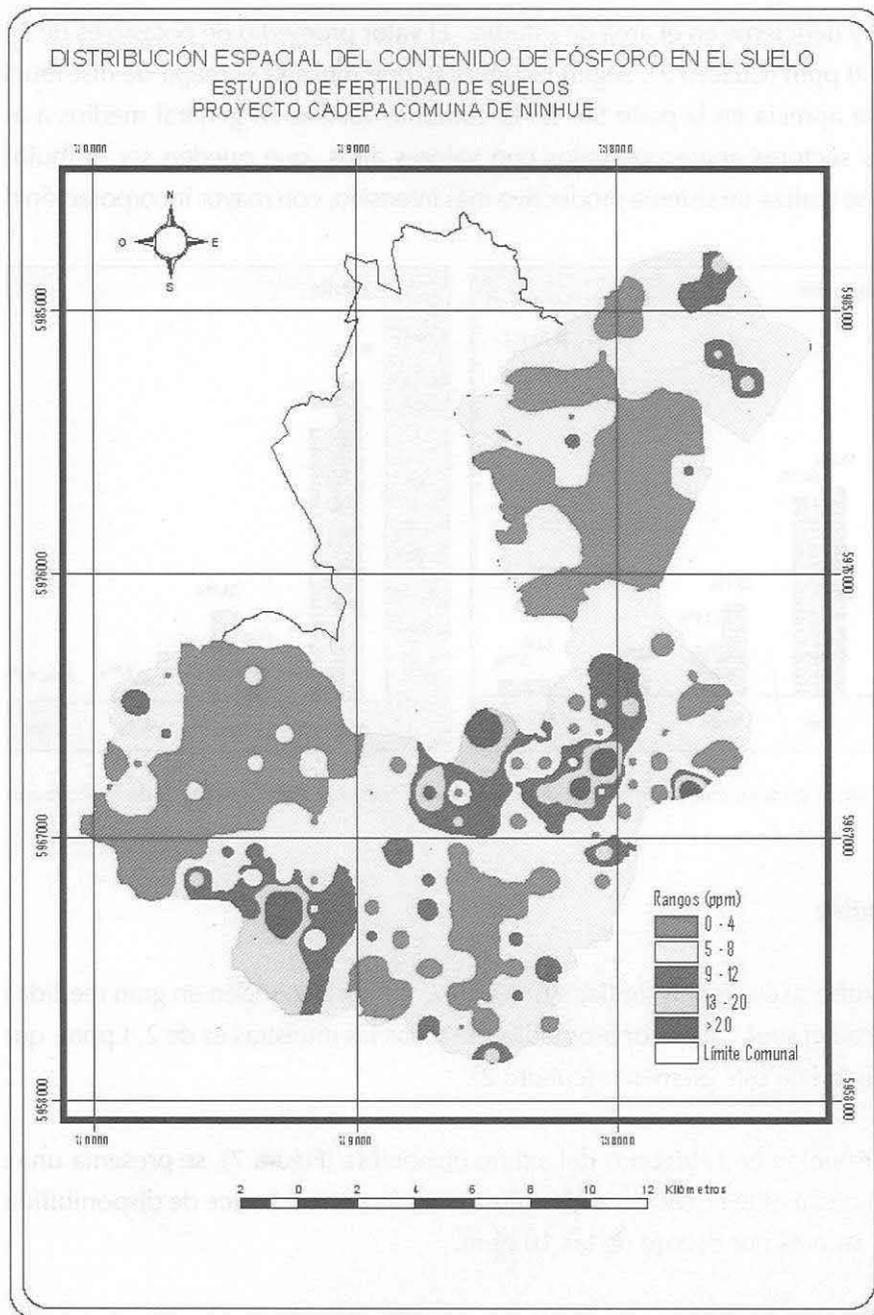


Figura 6. Mapa de la distribución de los niveles Fósforo Olsen (ppm) del suelo. Comuna de Ninhue.

4.5. Potasio disponible

La mayor parte de las muestras analizadas (68%) presentan un nivel de potasio disponible bajo a muy bajo, de acuerdo a la Figura 7. También, al igual que la disponibilidad de fósforo, el potasio es un nutriente esencial y deficiente en el área de estudio. El valor promedio de potasio es de 96 ppm, con un rango de 7 a 419,8 ppm (Cuadro 2). Según la Figura 8, que muestra el mapa de distribución del contenido de potasio, se aprecia en la parte Sur de la comuna, valores en general medios a adecuados. En algunos pequeños sectores aparecen suelos con valores altos, que pueden ser atribuibles a aquellos sectores en donde se realiza un sistema productivo más intensivo, con mayor incorporación de fertilizantes.

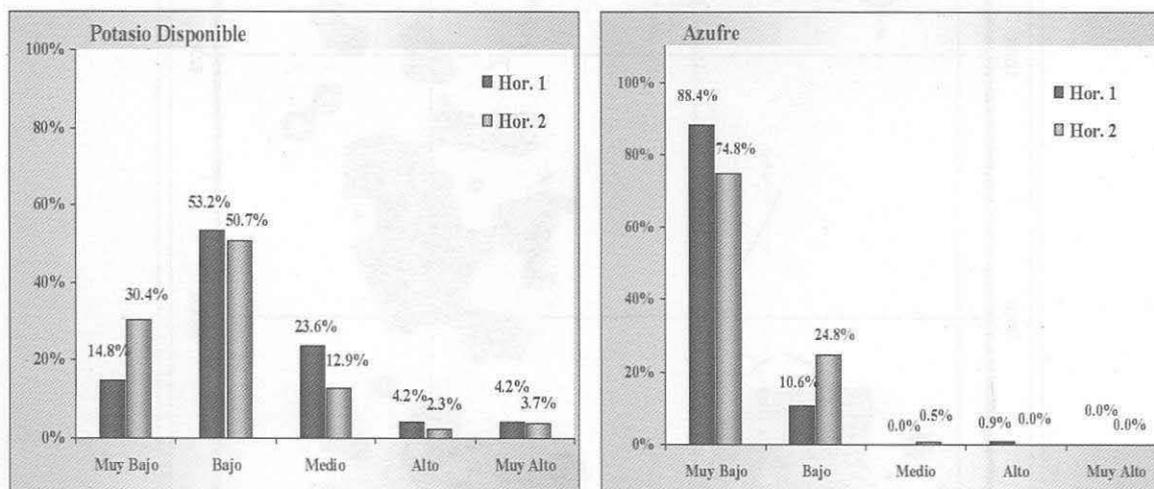


Figura 7. Frecuencia de casos para los rangos de Potasio disponible (ppm) y Azufre disponible (ppm) de los horizontes 1 y 2. Calicatas comuna de Ninhue.

4.6. Azufre disponible

El contenido de azufre se comporta similar a nitrógeno, ambos dependen en gran medida del contenido de materia orgánica del suelo. El valor promedio de todas las muestras es de 2,3 ppm, que es nivel muy bajo de disponibilidad de este elemento (cuadro 2).

Al apreciar la distribución en categorías del azufre disponible (Figura 7), se presenta una situación dramática, ya que prácticamente el 100% de las muestras están con un índice de disponibilidad bajo y muy bajo que significa valores por debajo de las 10 ppm.

Así también, se ve la distribución espacial en la Figura 9, donde prácticamente toda la superficie estudiada de la comuna tiene valores por debajo de 5 ppm (sectores rojos y amarillos) con algunas excepciones en azul, con valores sobre 5 ppm.

El azufre es un elemento secundario en la nutrición vegetal, pero no menos importante en su esencialidad, es decir, si falta los cultivos se verán impedidos de desarrollarse, por tanto pasa a ser el principal elemento a considerar en las fertilizaciones de cultivos en estos suelos.

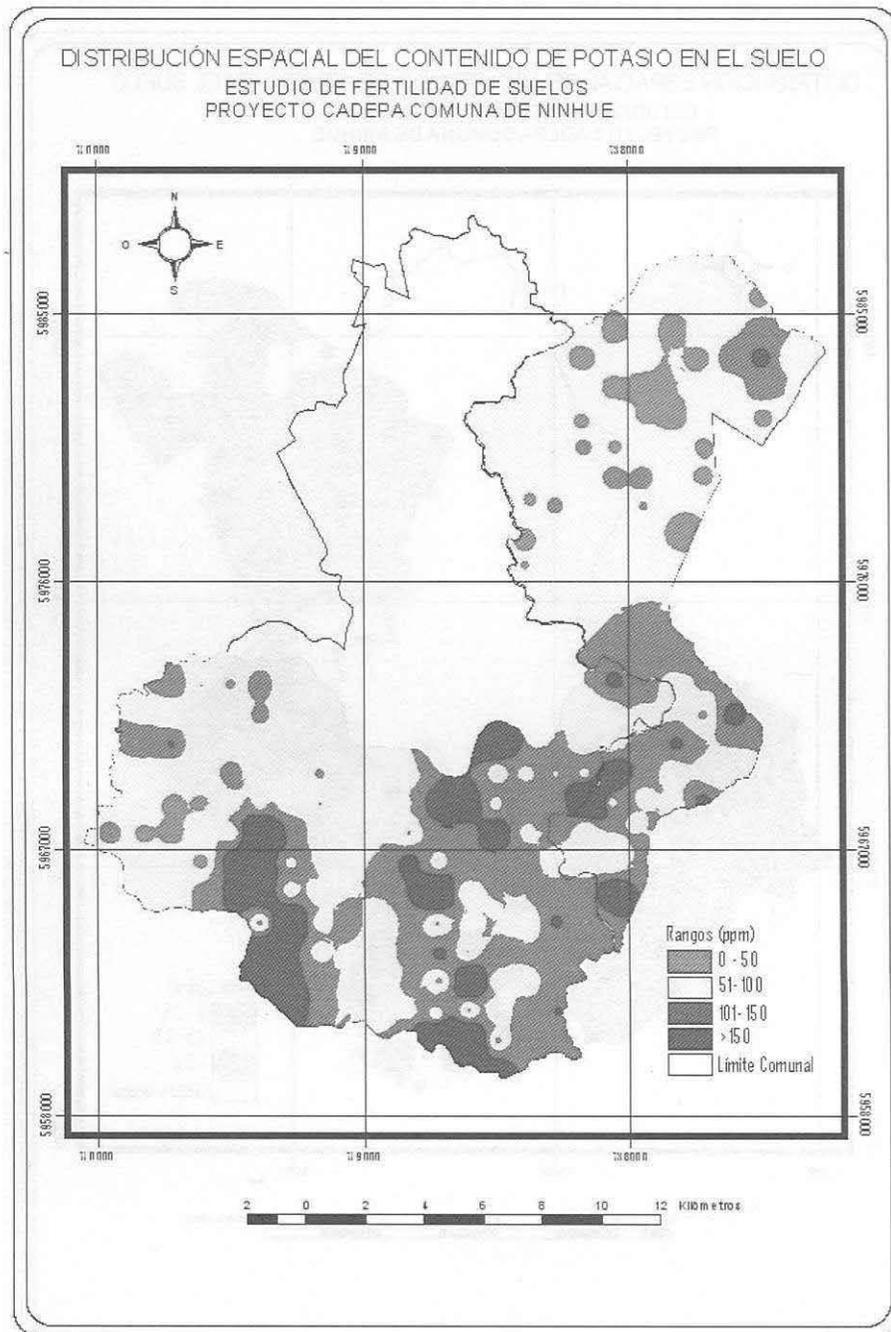


Figura 8. Mapa de distribución de los niveles Potasio disponible (ppm) del suelo. Comuna de Ninhue.

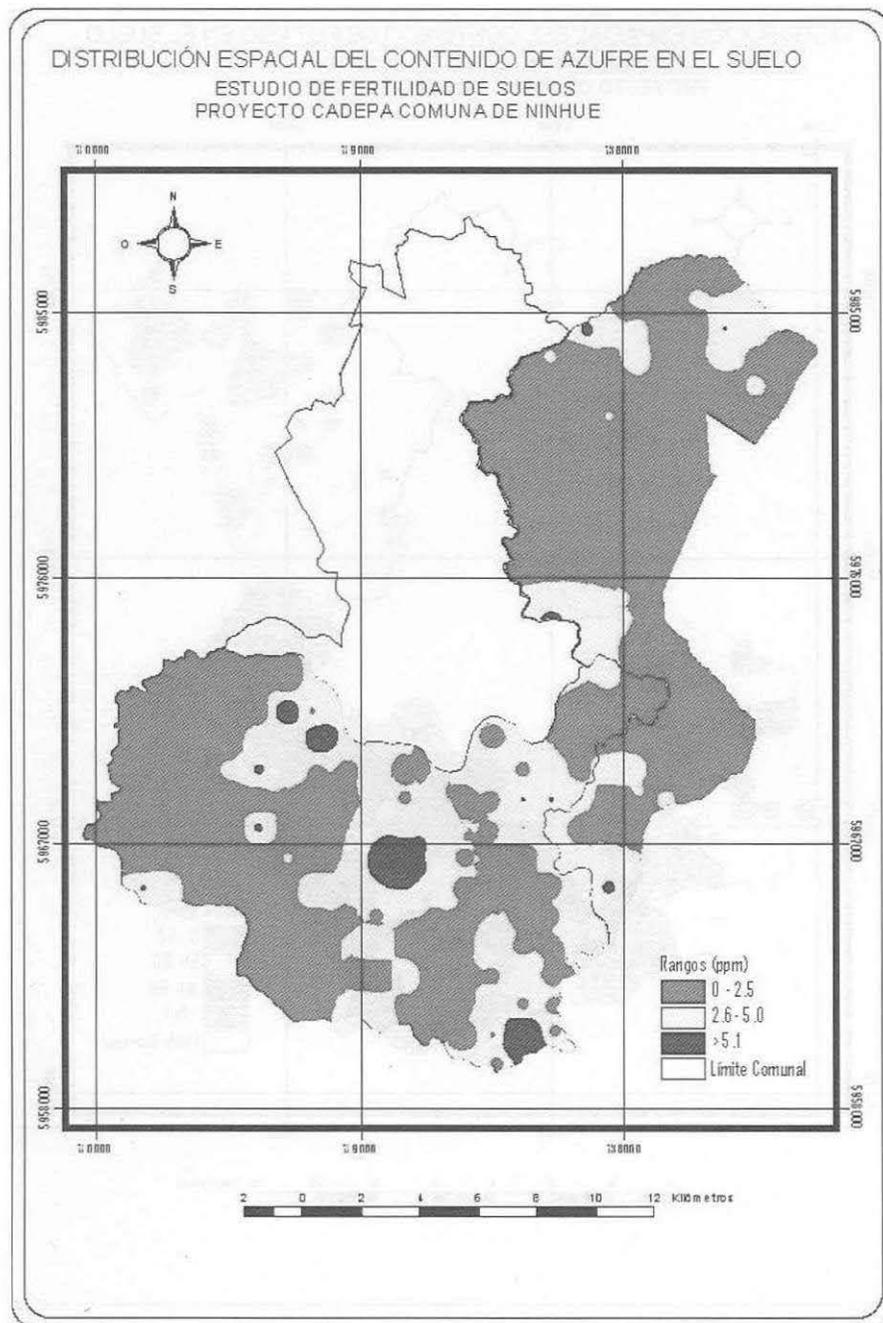


Figura 9: Distribución de los niveles Azufre disponible (ppm) del suelo. Comuna de Ninhue.

4.7. Calcio de intercambio

Sobre el 66% de las muestras presentan niveles bajos a muy bajos de calcio de intercambio en toda la comuna de Ninhue (Figura 10), con valores inferiores a 5 cmol(+)/Kg. Esto se relaciona con material de origen del suelo y con el alto grado de erosión que han sufrido por el excesivo laboreo, barbechos que han mantenido los suelos libres de cubierta vegetal durante los meses de otoño e invierno, y con los bajos aportes de calcio vía las aplicaciones de fertilizantes y la no utilización de enmiendas calcáreas.

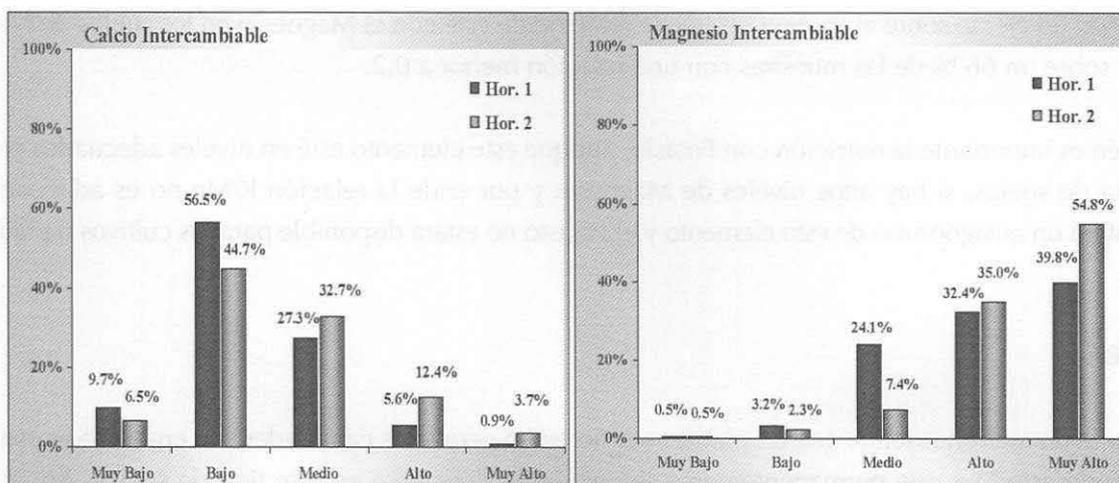


Figura 10. Frecuencia de casos para los rangos de Calcio y Magnesio de intercambio (cmol(+)/Kg) de los horizontes 1 y 2. Calicatas comuna de Ninhue.

4.8. Magnesio de intercambio

El magnesio presenta un comportamiento totalmente opuesto al encontrado con el calcio, y otras bases ya que sobre el 72% de las muestras presentan niveles altos a muy altos de este elemento en toda la comuna de Ninhue (Figura 10), con valores superiores a 1,01 cmol(+)/Kg magnesio de intercambio. Esto se relaciona con el material de origen del suelo. Los altos niveles de magnesio encontrados estarían generando problemas en la absorción por los cultivos del calcio y el potasio, lo cual agrava aún más la situación de ambos elementos que de por sí se encuentran muy bajos en el perfil de los suelos.

4.9. Suma de bases de intercambio

La suma de bases es un parámetro que indica el grado de acidificación de los suelos. Para los suelos de la Comuna de Ninhue, se aprecia de acuerdo al pH, que no están afectados por acidificación encontrándose prácticamente suelos neutros a ligeramente ácidos. El 70 % de las muestras analizadas presentan una suma de bases en rangos medios a bajos, por la falta de Sodio, de Calcio y en menor grado de Potasio, en contraste a los altos tenores de Magnesio.

En general, las bases tienen importancia ya que aportan a la nutrición de los cultivos, pero en una condición de equilibrio que debe considerar una determinada proporción entre ellas, del orden de 60 a 80% de Calcio, 10 a 20 % de Magnesio, 2 a 6 % de Potasio y 2 a 4% de Sodio. Lo que en términos de relaciones debe mantenerse alrededor de 5 para Ca/Mg y entre 0,2 y 0,3 para K/Mg.

Las relaciones de bases de los suelos estudiados, donde se destaca que alrededor del 94% de las muestras tienen una relación Calcio/Magnesio menor a 4. Es decir, hay una falta de calcio con respecto al Magnesio, que afectará la nutrición de las plantas, ya que este último elemento desplazará al Calcio. De la misma forma hay un efecto sobre el Potasio, ya que la relación de este con el Magnesio en los suelos de Ninhue señala sobre un 66 % de las muestras con una relación menor a 0,2.

También es importante la nutrición con Potasio, aunque este elemento esté en niveles adecuados en una muestra de suelos, si hay altos niveles de Magnesio y por ende la relación K/Mg no es adecuada, se presentará un antagonismo de este elemento y el Potasio no estará disponible para los cultivos o praderas.

4.10. Boro

El Boro es un micronutriente, que las plantas requieren en pequeñas cantidades, sin embargo es esencial para su desarrollo y que permanentemente se encuentra deficiente en este tipo de suelos. Además es importante para algunos cultivos como las viñas y especialmente en aquellos que tienen activo crecimiento durante primavera verano, período en el cual la disponibilidad de agua del suelo es escasa y las deficiencias de boro se agravan, debido a que es absorbido en forma pasiva por las raíces, es decir, a través de la absorción de agua.

En la Figura 11 se presentan las categorías de disponibilidad, encontrándose más del 96% con índices bajos y muy bajos en el primer horizonte, es decir menos de 0,5 ppm, que limita seriamente la producción de cultivos y viñas.

La Figura 12 muestra el mapa de la distribución espacial del contenido de Boro en la comuna, donde se aprecia que prácticamente el total de la superficie estudiada tiene menos de 0,33 ppm, convirtiéndose en uno de los principales factores limitantes de la fertilidad.

4.11. Manganeso y Hierro

Sorprende los altos valores de manganeso y hierro que predominan en toda el área, ya que se encuentran en índices altos, con medias de 39,6 ppm para manganeso (entre 5,6 a 137,3 ppm) y 63,1 ppm para hierro (entre 9,2 a 273,5 ppm). Estos valores están muy por encima de rangos suficientes, ya que se considera disponibilidad alta de estos micronutrientes cuando se encuentran concentraciones por sobre 1 ppm para el manganeso y sobre 4,5 ppm para hierro, de acuerdo al método analítico utilizado.

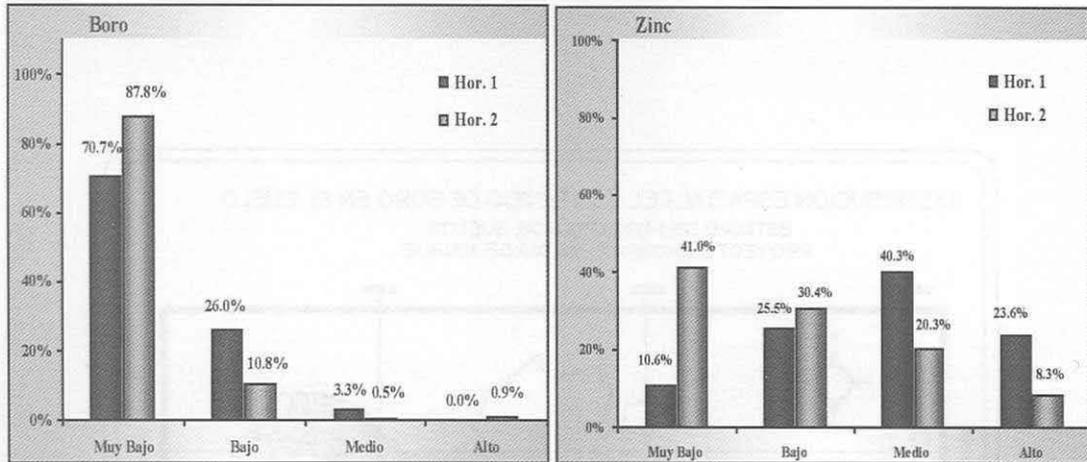


Figura 11. Frecuencia de casos para los rangos de Boro y Zinc disponible (ppm) de los horizontes 1 y 2. Calicatas comuna de Ninhue.

4.12. Zinc y Cobre

La mayoría de los suelos muestreados tienen valores aceptables de cobre, los que se presentan en su mayoría con índices de disponibilidad altos, con valores promedio de 1,4 ppm, con una variación entre 0,3 y 4,8 ppm (Cuadro 2). Esto indica que este elemento no es limitante para la zona, salvo algunas excepciones del 2 a 5 % de los casos analizados.

El zinc presenta una gran cantidad de muestras con valores deficientes, ya que el 36,1% de los casos analizados presentan índice bajo y muy bajo en el horizonte 1, (Figura 11). Esto es más notorio en el horizonte 2 donde el 70,4% están en esta condición. Por tanto el zinc es un elemento a considerar en fertilizaciones de cultivos sensibles y que aspiren a rendimientos altos.

La distribución espacial en la comuna de los valores bajos de zinc no presentan una condición homogénea y se aprecian sectores aislados y distribuidos en el sector sur (Figura 13). En el mapa se aprecia en colores rojo y amarillo.

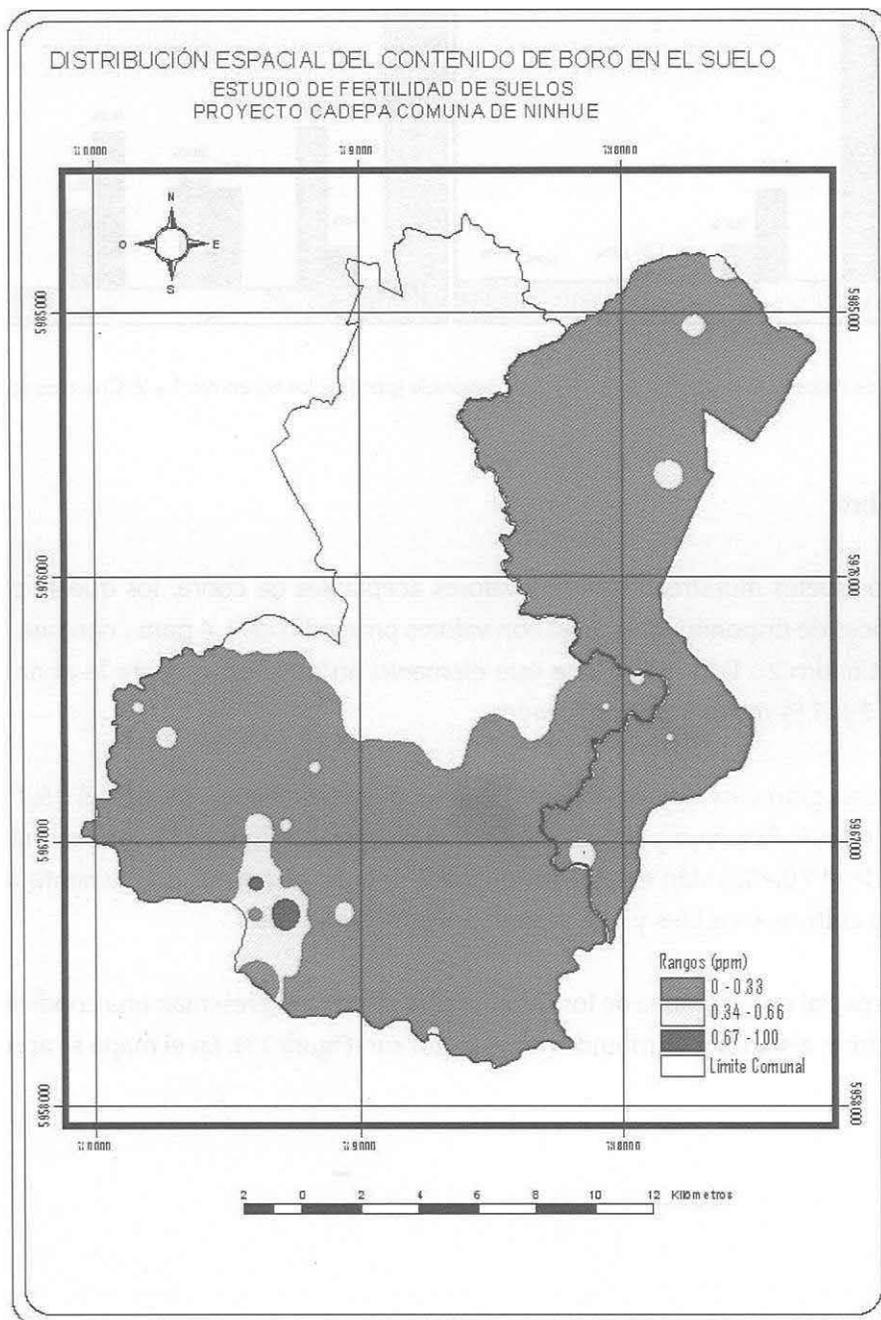


Figura 12. Mapa de la distribución de los niveles Boro disponible (ppm) del suelo. Comuna de Ninhue.

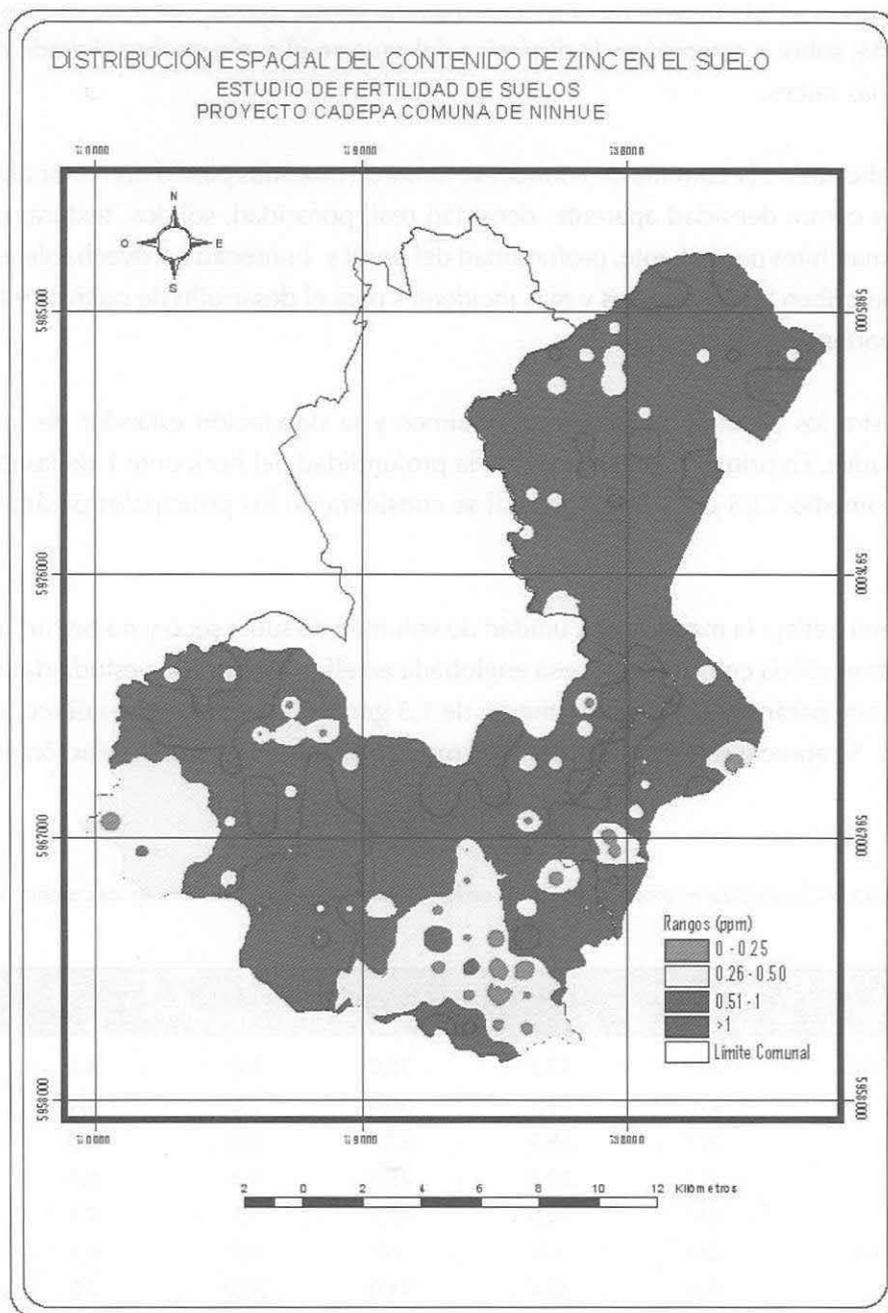


Figura 13. Mapa de la distribución de los niveles Zinc disponible (ppm) del suelo. Comuna de Ninhue.

5. PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas de los suelos, no son menos importantes que las propiedades químicas ya que la interacción con éstas es la que determina la fertilidad global de los suelos. Las propiedades físicas influyen, principalmente, sobre la retención y la dinámica del agua en el suelo y sobre el grado de resistencia al crecimiento de las raíces.

En el estudio de calicatas de la comuna de Ninhue, se tomaron muestras para determinar algunas propiedades físicas, tales como: densidad aparente, densidad real, porosidad, sólidos, textura, capacidad de campo, punto de marchites permanente, profundidad del perfil y humedad aprovechable, entre otras. A continuación se describen las principales y más incidentes para el desarrollo de cultivos y frutales y que determinan los aportes de hídricos del suelo.

El Cuadro 3 muestra los promedios, máximos, mínimos y la desviación estándar de los principales parámetros estudiados. En primer lugar se presenta la profundidad del horizonte 1 de las calicatas estudiadas, con un promedio 13,5 cm y desde el cual se consideraron los principales parámetros físicos y químicos.

La densidad aparente refleja la masa de una unidad de volumen de suelo seco y no perturbado, para que incluya tanto a la fase sólida como a la gaseosa englobada en ella. Para la zona estudiada se encuentran valores altos para este parámetro, con un promedio de 1,5 gramos por centímetro cúbico, con un rango de 1,8 a 0,9 gr/cc. Se aprecia que es una propiedad muy constante ya que la desviación estándar es de $\pm 0,1$ gr/cc.

Cuadro 3. Parámetros estadísticos de algunas propiedades físicas de las muestras del primer horizonte de las calicatas de la comuna de Ninhue.

| | Nº CALICATAS | PROMEDIO | MÁXIMO | MÍNIMO | DESV. STANDARD | COEF. DE VARIACIÓN % |
|--------------------------|--------------|----------|--------|--------|----------------|----------------------|
| Profundidad Horiz.1 (cm) | 217 | 13,5 | 35,0 | 5,0 | 4,1 | 30,1 |
| Pendiente en % | 210 | 11,8 | 50,0 | 0,0 | 10,3 | 87,0 |
| Arena, % | 217 | 58,9 | 83,1 | 13,3 | 12,1 | 20,5 |
| Limo, % | 217 | 20,7 | 48,9 | 9,3 | 6,9 | 33,4 |
| Arcilla, % | 217 | 20,5 | 49,1 | 1,1 | 9,1 | 44,5 |
| Densidad aparente gr/cc | 216 | 1,5 | 1,8 | 0,9 | 0,1 | 9,2 |
| Porosidad (%) | 216 | 42,1 | 94,0 | 30,9 | 7,2 | 17,1 |
| Humedad 1/3 atm (%) | 217 | 16,9 | 45,5 | 6,1 | 6,0 | 35,3 |
| Humedad 15 atm (%) | 217 | 9,5 | 26,8 | 2,4 | 3,8 | 39,6 |
| Humedad aprovechable cm | 216 | 1,5 | 6,5 | 0,2 | 0,8 | 53,0 |

La textura de los suelos en general se presenta con contenidos de arcilla en categorías de medio a bajo, con un promedio de 20,5% y una desviación estándar de 9,1%. Esto asociado a contenidos de arena del orden de $59\% \pm 12,1\%$ nos presenta suelos de tipo arcillo arenosos, que son muy compactos y densos con una porosidad fina, que afecta la capacidad de almacenamiento de agua. La infiltración de agua en el perfil del suelo esta limitada, al igual que la retención de humedad del suelo. El material de origen del suelo (roca granítica) y el manejo de destrucción de la capa vegetal del suelo han sido los promotores del bajo contenido de limo que le confiere una mejor estructura.

5.1. Humedad aprovechable

En general la humedad aprovechable del suelo es limitante para la producción agrícola con valores inferiores a $4,3 \text{ cm} \pm 2,0 \text{ cm}$ de altura de agua almacenada en los dos primeros horizontes estudiados, que en promedio tienen una profundidad de 39,5 cm. Esto sumado a una prolongada sequía estival hace que el agua que el suelo puede almacenar y aportar para el desarrollo de cultivos o praderas es muy reducida.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La fertilidad de los suelos de la comuna de Ninhue está condicionada a la erosión hídrica a que han estado sometidos por el laboreo de suelos y el uso de barbechos que dejan el suelo descubierto a merced de las lluvias invernales, las que han deteriorado el recurso en sus propiedades físicas. Esto se traduce en densidades aparentes altas, suelos con escasa de estructura y porosidad que reduce sustancialmente la capacidad de almacenamiento de agua en el perfil.

Para sustentar una agricultura de secano se debe intentar mejorar algunas de estas propiedades mediante la adición de enmiendas orgánicas, como el uso de guanos, manejo de rastrojos y utilización de abono verde.

Es importante mejorar las condiciones del suelo en aspectos físicos mediante el uso de prácticas conservacionistas, como las mencionadas, y otras como la cero labranza. Para esto se deben aplicar estrategias en la combinación de estas para hacerlas exitosas. Así, para considerar la cero labranza, se debe partir mejorando la capacidad de infiltración del suelo y generando estructura. Esto se consigue mediante la incorporación de guanos, rastrojos y abono verde.

Una de las principales limitantes del sector es el clima, debido a baja pluviometría en los meses de primavera y verano, generando una prolongada sequía estival. Asociado a la baja capacidad de retención de agua del suelo, debido a las propiedades físicas restrictivas y pendientes limitantes, que contribuyen a la erosión y al escurrimiento de gran cantidad del agua de lluvia.

Lo anterior debe tenerse en consideración al momento de fertilizar los cultivos, ya que la producción no tiene un alto potencial determinado por las condiciones hídricas.

La fertilidad química del suelo está disminuida debido a la falta de aporte de nutrientes desde el suelo, limitado por los bajos contenidos de materia orgánica y pérdidas por erosión. Por tanto es necesario el manejo de residuos y la incorporación de enmiendas orgánicas para mejorar aspectos de fertilidad, así como las propiedades físicas.

Los macronutrientes, como Nitrógeno, Fósforo y Potasio, será indispensable incorporarlos en las fertilizaciones de acuerdo a los rendimientos esperados para la zona. El Nitrógeno se aprecia como el principal nutriente deficitario en los suelos de la comuna de Ninhue, ya que se presenta en más del 98% de las muestras en índices bajos a muy bajos, con un promedio de 6.1 ppm. Dada la importancia en la nutrición de los cultivos y al ser el principal macronutriente, se transforma en la primera limitante de la fertilidad.

Según el grado de deficiencia en segunda prioridad está el azufre, con valores promedios de 2,3 ppm, ya que prácticamente el 100% de las muestras están con un índice de disponibilidad bajo y muy bajo.

El fósforo se presenta deficiente, con índices bajos y muy bajos en el 87% de los casos, con promedio de 6,1 ppm, siendo el tercero en importancia, por el tenor de las deficiencias, para considerar en recomendaciones de fertilización. Seguido a estos elementos está el potasio por su grado de deficiencia e importancia como macro nutriente. Los índices de disponibilidad son bajos a muy bajo en el 68% de las muestras analizadas.

De acuerdo a lo encontrado en el estudio, se debe considerar el mejoramiento de las relaciones de bases que afectarán la disponibilidad de Potasio y Calcio especialmente por los elevados contenidos de Magnesio de intercambio. Una estrategia puede ser la utilización de enmiendas calcáreas de tipo calcitas (libres de magnesio), para aumentar los contenidos de Calcio del suelo. Además, esto ayudará a mejorar la estructura del suelo, mejorando la porosidad y la infiltración de agua.

En cuanto a micronutrientes, aparece con niveles muy bajos el Boro, que deberá considerarse en las formulas de fertilización para obtener un buen desarrollo de cultivos, en especial en los viñedos y frutales que se deseen introducir en la zona.

El Zinc es otro micro nutriente a considerar en la medida que se tenga un potencial de rendimiento alto, en especial en condiciones de riego, presentándose deficiencias en algunos sectores de la comuna, con el 36,1% de los casos analizados con índices bajos y muy bajos.

La fertilización, debe utilizar como herramienta de diagnóstico el análisis de suelos, con los parámetros necesarios para obtener información de la condición de fertilidad global de los macro nutrientes, elementos secundarios como Azufre y micronutrientes como boro y zinc. Un buen análisis de suelos debe incluir N, P, K, pH, Materia Orgánica, Calcio, Magnesio, Sodio, Azufre, Boro y Zinc.

De acuerdo a los resultados promedios obtenidos en los análisis de las calicatas, y considerando rendimientos medios, dadas las restricciones de humedad de la zona, las fórmulas de fertilización aproximadas para cereales como trigo y leguminosas como arveja y lenteja se presentan el cuadro 4, indicándose las unidades de nutrientes a aplicar en Kg/ha, de acuerdo a los rendimientos indicados. Estas fertilizaciones corresponden a una orientación general que considera los datos promedio de los análisis de la zona, las dosis deben ajustarse de acuerdo a la condición de fertilidad particular, diagnosticada con una análisis de suelos, el rendimiento esperado y la tecnología y manejo del cultivo específico, como variedad, riego, control de malezas y sistema de siembra.

De acuerdo al diagnóstico del análisis de suelos y de ser necesario incluir Boro y Zinc en no más de 1 Kg/ha de cada uno. De la misma forma si el análisis indica problemas de acidez, considerar el encalado en 500 Kg/ha.

Cuadro 4. Recomendaciones de fertilización generales para Trigo, Arveja verde y Lentejas, de acuerdo a los rendimientos indicados y al diagnóstico de la fertilidad de los suelos para la comuna de Ninhue.

| NUTRIENTE | UNIDAD | kg/ha DE CADA NUTRIENTE | | | | | |
|-----------|-------------------------------|-------------------------|-----|----------------------|------|-----------------|----|
| | | TRIGO (qq/ha) | | ARVEJA VERDE (Kg/ha) | | LENTEJA (qq/ha) | |
| | | 30 | 45 | 2500 | 4000 | 8 | 12 |
| Nitrógeno | N | 80 | 120 | | | | |
| Fósforo | P ₂ O ₅ | 40 | 60 | 50 | 80 | 60 | 80 |
| Potasio | K ₂ O | 30 | 45 | 30 | 50 | 50 | 70 |
| Magnesio | MgO | | | | | | |
| Azufre | S | 10 | 15 | 15 | 20 | 15 | 20 |

7. BIBLIOGRAFÍA

- CIREN, 1999.** Estudio Agrológico VIII Región. Tomo 1 y 2. Descripción de suelos Materiales y Símbolos. Centro de Información de Recursos Naturales. Publicación CIREN N° 121. 586 p.
- Del Pozo, Alejandro y Del Canto, Pedro. 1999.** Áreas agroclimáticas y sistemas productivos en la VII y VIII regiones. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. INIA Quilamapu. Chillán, Chile.
- Fernández E., Fernando; Ruiz S., Carlos. 2003.** Producción Moderna de Cultivos y Praderas en el Secano Interior. Chillán, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 98. 126p.
- Rodríguez S, Nicasio. 2002** Manejo de la fertilidad de los suelos del secano interior. En: Curso Internacional Manejo de Microcuencas y prácticas Conservacionistas de Suelo y Agua. Chillán, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. INIA Quilamapu. Serie Actas N° 22, p. 181-189
- Ruiz S, Carlos; Rodríguez S, Nicasio; Pedreros L, Alberto. 2003.** Producción de trigo En: Producción moderna de cultivos y praderas en el secano interior. Chillán, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 98, p. 41-52.