



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRONÓMICA



**EFFECTO DEL TIPO DE NEUMATICO DE TRACTOR AGRICOLA
EN LA COMPACTACIÓN Y RENDIMIENTO DE TRACCIÓN EN
EL CIP ILLPA UNA - PUNO**

TESIS

PRESENTADO POR:

FENRY VILLASANTE POMARI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

PUNO – PERÚ

2020



DEDICATORIA

A Dios.

Por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar adelante.

A mi padre Elías.

Quien a lo largo de mi vida ha velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ello que soy lo que soy ahora.

A mi madre Elvira.

Por haberme apoyado en todo momento, quien ha sido mi guía y el camino para poder llegar a este punto de mi carrera, que con su ejemplo, dedicación y palabras de aliento nunca bajo los brazos, por el sacrificio que hizo durante mi etapa de estudio. Mamá gracias, todo esto te lo debo a ti.

A mis hermanos.

Naldy y José, gracias por el apoyo incondicional que recibí de ustedes y por ser parte fundamental de este gran logro. Abel y Ronald les agradezco por estar siempre en mi vida no sólo aportando buenas cosas, sino también por su gran apoyo en esta fuerte etapa de mi vida donde fueron más los momentos buenos que pasamos que los malos. Muchas gracias hermanos.

A mi Esposa e hijo

Gracias a mi pareja por entenderme en todo, gracias a ella porque en todo momento fue un apoyo incondicional en mi vida, fue la felicidad encajada en una sola persona, fue mi todo reflejado en otra persona a la cual yo amo demasiado, y por la cual estoy dispuesto a enfrentar todo y en todo momento.

Lian James, Posiblemente en este momento no entiendas mis palabras, pero para cuando seas capaz, quiero que te des cuenta de lo que significas para mí. Eres la razón de que me levante cada día esforzarme por el presente y el mañana, eres mi principal motivación. Todo esto te la dedico a ti hijo mío, porque eres mi soporte y la razón de vivir, Como en todos mis logros, en este has estado presente.



AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a mi alma mater la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, Facultad de Ciencias Agrarias, por haberme formado profesionalmente.

A cada uno de los docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias; a quienes con su experiencia, conocimiento y enseñanzas contribuyeron mi formación profesional.

Agradezco a los miembros del jurado, revisores de la presente Tesis, quienes me brindaron la orientación académica, revisión y corrección que sin duda mejoraron este trabajo de investigación.

Mi agradecimiento y reconocimiento a mi director de tesis M.Sc. Dawes Ramos Alata, por la ayuda, por su apoyo incondicional y confianza depositada en mi persona, su acertada dirección, orientación, el soporte y discusión crítica que me permitió un buen aprovechamiento en el trabajo realizado, y que esta tesis llegara a buen término.

Al Ing. Guido Velazco Chipana, por sus consejos y sabiduría, porque ha fomentado en mí el deseo de superación y depositar su confianza en mi persona como amigos.

Al Ing. Toribio López Cruz, por apoyarme moralmente e insistencia para la elaboración de este proyecto.

Al Ing Mario Vilca Apaza, por ser un amigo leal, por haberme apoyado moralmente y valorarme como persona.

A mis amigos Edwin, Over y Cliver... a todos ustedes les considero más que unos amigos les considero mis hermanos, gracias por ser parte de este proceso y estar en cada paso del camino. No tengo como agradecerles por ser incondicionales y espero que estas palabras puedan expresar al menos un poco de lo que siento.

A todas aquellas personas y amigos que directa e indirectamente han contribuido en la realización del presente proyecto de investigación.

¡Gracias a ustedes!

Fenry Villasante Pomari



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	10
ABSTRACT.....	11
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. Justificación del Proyecto.....	14
1.2. Objetivos.....	14
1.2.1. Objetivo general:.....	14
1.2.2. Objetivos específicos:	14
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. Antecedentes.....	15
2.2. Marco Referencial	17
2.2.1. Suelo.	17
2.2.2. Clasificación taxonómica del suelo	17
2.2.3. Compactación del suelo	20
2.2.4. Textura	24
2.2.5. Porosidad	25
2.2.6. Densidad aparente.....	25
2.2.7. Resistencia a la penetración.....	26
2.3. Tracción	26
2.3.1. Resistencia a la rodadura	27
2.3.2. Adherencia de los neumáticos al suelo	28
2.3.3. Neumáticos	28
2.3.4. Presión adecuada de los neumáticos.....	29
2.4. Descripción de la rueda	30



2.5. Medición del patinaje de las ruedas-manualmente	31
2.6. Patinaje	32
2.6.1. Velocidad	33
2.6.2. Pérdida de potencia	33
2.6.3. Compactación por patinaje	33
2.7. Factores relacionados con la maquinaria agrícola en la compactación del suelo.....	34
2.7.1. Operaciones mecánicas y maquinaria.....	34
2.7.2. Tractor agrícola.....	35
2.7.3. Contenido de humedad del suelo	40
2.7.4. Efecto de los neumáticos	41
2.7.5. Intensidad de tránsito	43
2.7.6. Presión mecánica	44

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de investigación	47
3.2. Tipo de investigación	47
3.3. Metodología	47
3.3.1. Materiales para la realización de pruebas en campo.....	47
3.3.2. Serie de suelo donde se realizó el estudio.....	48
3.3.3. Metodología para determinar La Densidad aparente.....	50
3.3.4. Determinación de la Porosidad	51
3.3.5. Determinación de presión mecánica.	52
3.3.6. Determinación de patinamiento.	52
3.4. Análisis Estadístico.	53
3.5. Conducción del experimento	56
3.5.1. Fase de Campo.....	56
3.5.2. Estudio Previo al Experimento	57

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Densidad aparente y porosidad de un suelo Mollisol por el tráfico de 02 tipos de cobertura de neumáticos de tractor agrícola radial y convencional... 59	
4.1.1. Densidad aparente	59
4.1.2. Porosidad total	62



4.1.3. Patinamiento	64
4.2. Presión mecánica que ejercen estos dos tipos de coberturas radiales y convencionales del tractor agrícola en un Mollisol.....	68
V. CONCLUSIONES.....	70
VI. RECOMENDACIONES	71
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	72
ANEXOS.....	76

Área : Ciencias Agrícolas

Tema : Manejo y conservación de Recursos de Agua y Suelo

FECHA DE SUSTENTACION 16 DE ENERO DEL 2020



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tipos de neumáticos: Convencional y Radial.....	29
Figura 2. Medición del patinaje de las ruedas-manualmente	31
Figura 3. Medición de patinaje.....	33
Figura 4. Compactación por patinaje	34
Figura 5. Elevación externa del taco central para lograr la presión de inflado ideal del neumático convencional.....	45
Figura 6. Angulación ideal del flanco del neumático radial como indicador de presión ideal de inflado.....	46
Figura 7. Neumático Radial y Neumático Convencional.....	55
Figura 8. Porcentaje de patinamiento por efecto del tipo de neumático, carga del motor y suelo agrícola.....	68
Figura 9. Tractor agrícola usado en la investigación.....	79
Figura 10. Diferencias entre neumáticos utilizados en la investigación.	79
Figura 11. Cambio de neumáticos	79
Figura 12. Marcado de neumático del tractor en suelo.	80
Figura 13. Medición de área de contacto de neumático.....	80
Figura 14. Medición del área de terreno para laboreo con tractor.....	80
Figura 15. Muestreo de suelo para determinación de densidad aparente.....	81
Figura 16. Pesado de muestras en laboratorio.....	81
Figura 17. Croquis de ubicación con imagen.....	81
Figura 18. Resultado de análisis de suelo.....	82



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Rendimiento relativo.....	29
Tabla 2. Presiones adecuadas para funciones específicas en neumáticos de tractores agrícolas.....	30
Tabla 3. Patinaje de la rueda.....	32
Tabla 4. Análisis de varianza para DCA con arreglo factorial.....	56
Tabla 5. Análisis de varianza para densidad aparente del suelo.....	59
Tabla 6. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el factor tipo de neumático sobre la densidad aparente del suelo.....	60
Tabla 7. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el factor del suelo agrícola sobre la densidad aparente del suelo.....	61
Tabla 8. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para la interacción de Tipo de neumático por tipo de suelo sobre la densidad aparente del suelo.....	61
Tabla 9. Análisis de varianza para porosidad total del suelo.....	62
Tabla 10. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el factor tipo de neumático sobre la porosidad total del suelo.....	63
Tabla 11. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el factor suelo sobre la porosidad total del suelo.....	63
Tabla 12. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para la interacción de Tipo de neumático por tipo de suelo sobre la porosidad total del suelo.....	64
Tabla 13. Análisis de varianza para porcentaje de patinamiento.....	65
Tabla 14. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el factor tipo de neumático sobre porcentaje de patinamiento.....	66
Tabla 15. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el factor tipo de neumático sobre porcentaje de patinamiento.....	66
Tabla 16. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el factor del suelo agrícola sobre porcentaje de patinamiento.....	67
Tabla 17. Calculo presión mecánica en neumáticos radiales.....	68
Tabla 18. Calculo presión mecánica en neumáticos convencionales.....	69
Tabla 19. Calculo de densidad aparente.....	76
Tabla 20. Calculo de Porosidad total.....	77
Tabla 21. Datos evaluados de porcentaje de patinamiento.....	78



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- An : Área neta de contacto rueda suelo en cm^2 .
- Da : Densidad aparente
- Dp : Densidad de partícula
- DCA : Diseño completo al azar
- C.M. : Cuadrados medios
- F.V. : Fuente de variación
- Ft : F tabular
- MS : Masa de suelo seco
- S.C : Suma de cuadrados
- SR : Suelo de rompe
- SRT : Suelo en rotación
- VT : Volumen total del suelo
- n.s. : No significativo
- Pm : Presión mecánica del tractor
- Qt : Carga total del tractor.
- % PT : Porcentaje de porosidad total
- PSI : Presión de aire por libra por pulgada cuadrada.
- kPa : kilopascal
- * : Es significativo
- ** : Es altamente significativo



RESUMEN

La investigación se realizó en el CIP ILLPA, UNA- PUNO, ubicado en el kilómetro 18 de la carretera Puno – Juliaca. Long. Oeste $70^{\circ} 4' 50''$. Latitud Sur $15^{\circ} 42' 30''$, con altitud de 3820 msnm., con una extensión superficial de 409.246 ha. Siendo los objetivos en estudio: a) Determinar la diferencia de densidad aparente, porosidad y patinamiento en un Mollisol por efecto del tráfico de 02 tipos de cobertura de neumáticos de tractor agrícola radial y convencional, b) Determinar la presión mecánica que ejercen estos dos tipos de coberturas radiales y convencionales del tractor agrícola en un Mollisol. La investigación fue bajo un enfoque cuantitativo de corte experimental desarrollando un tipo de investigación a nivel explicativo. El tractor usado fue de marca New Holland de doble tracción, Modelo TD05DPLUS 2014. Las variables independiente fueron: Tipo de neumático (convencional y radial), Carga de motor (1000, 1500 y 2000 rpm) y suelos (Rompe y Rotación). Las variables de respuesta fueron: densidad aparente (gr/cm^3), porosidad total (%), Patinamiento (%) y Presión mecánica (kg/cm^2). Los resultados obtenidos fueron: a) En la densidad aparente el tipo de neumático Convencional fue estadísticamente diferente, teniendo una densidad aparente de $1.51 \text{ g}/\text{cm}^3$, siendo superior al neumático radial, mientras que en el % de porosidad total el neumático radial en el suelo de rotación obtuvo 47.57%, el cual es superior a los 45.01% del neumático convencional. En cuanto al porcentaje de patinamiento el tratamiento, conformado por tipo de neumático convencional más la carga de motor de 2000 rpm más el suelo Rotación tuvo mayor porcentaje de patinamiento con 5.34%, seguido de tipo de neumático Radial con 5.21%. b) En la presión mecánica, el neumático convencional tuvo mayor presión mecánica con $0.88 \text{ kg}/\text{cm}^2$ (86.30 KPa) mientras que el neumático radial tuvo menor presión mecánica con $0.71 \text{ kg}/\text{cm}^2$ (69.63 KPa). Palabras clave: Compactación, densidad aparente, neumático, patinamiento, tractor.



ABSTRACT

The investigation was conducted at the CIP ILLPA, UNA-PUNO, located at kilometer 18 of the Puno - Juliaca highway. Long. West $70^{\circ} 4' 50''$. South Latitude $15^{\circ} 42' 30''$, with an altitude of 3820 meters above sea level, with a surface area of 409,246 ha. The objectives being studied: a) Determine the difference in bulk density, porosity and skating in a Mollisol as a result of the traffic of 02 types of tires of radial and conventional agricultural tractor tires, b) Determine the mechanical pressure exerted by these two types of radial and conventional covers of the agricultural tractor in a Mollisol. The research was under an experimental quantitative approach, developing a type of research at an explanatory level. The tractor used was the New Holland brand of double traction, Model TD05DPLUS 2014. The variables as an independent study were: Tire type (conventional and radial), Engine load (1000, 1500 and 2000 rpm) and soil type (Break and Rotation). The response variables were: apparent density (gr / cm^3), total porosity (%), Skating (%) and Mechanical pressure (kg / cm^2). The results obtained were: a) In the apparent density the type of Conventional tire was statistically different, having an apparent density of $1.51 \text{ g} / \text{cm}^3$, being higher than the radial tire, while in it% of total porosity the radial tire on the ground Rotation obtained 47.57%, which is higher than 45.01% of the conventional tire. Regarding the percentage of skating the treatment, consisting of conventional tire type plus 2000 rpm engine load plus ground type Rotation had a higher skating percentage with 5.34%, followed by Radial tire type with 5.21%. b) In mechanical pressure, the conventional tire had higher mechanical pressure with $0.88 \text{ kg} / \text{cm}^2$ (86.30 KPa) while the radial tire had lower mechanical pressure with $0.71 \text{ kg} / \text{cm}^2$ (69.63 KPa) the differences are due to the contact area over soil.

Keywords: Compaction, bulk density, tire, skating, tractor.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En la agricultura, el suelo no solo constituye el soporte y fuente de alimentación de los cultivos, además sufren varias acciones por parte de las maquinarias agrícolas. Para su mejor utilización, se debe conocer el grado de respuesta de los distintos tipos de suelo, en las distintas fases de operación mecánica que se realice para cada cultivo.

El incorrecto manejo de los terrenos, de la maquinaria agrícolas tiene un efecto negativo en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, consumo de energía, facilidad de erosión, y otra serie de factores. Por ello, se hace especial insistencia en los procesos de compactación, estado de consistencia, esfuerzo cortante, resistencia al deslizamiento metal-suelo, lo cual se observa en las distintas actividades donde se están utilizando el tractor agrícola.

Botta *et al* (2002). El uso de los tractores agrícolas definitivamente a mejorado la producción agrícola del mundo incrementando la producción y reduciendo la mano de obra sin embargo el principal problema del uso de las maquinas sobre el suelo agrícola es definitivamente la degradación de los factores físicos como son la densidad aparente que se traduce como compactación y que significa un descenso en los rendimientos de los cultivos.

La proporción de productores que utilizan tractores, según región natural es de la siguiente forma: en la costa 52%, en la sierra 21.7% y en la selva 3.5 % y la otra parte de ese ponderado está representado por el uso de la energía animal y con herramientas manuales. En departamento de Puno se cuenta con 670 tractores agrícolas (Minagri 2012), de estos tractores no se precisa el tamaño, potencia, ni tipos de neumáticos, pero que si es conocido a nivel mundial las ventajas que trae los neumáticos radiales.



Gonzales (2007), la elección del neumático agrícola no está exenta de un cierto nivel de conocimientos técnicos, que permitan conjuntar el tipo de suelo en el que se va a trabajar: el tractor a emplear y las labores que se pretenden realizar. A fin de cuentas, el neumático es el punto de unión entre el tractor y el terreno, es decir, por medio del neumático se transmite toda la fuerza desarrollada por el tractor al terreno; una mala elección de este puede provocar una importante pérdida de potencia, de ahí la importancia de su elección.

Gonzales (2007), lo que se busca principalmente es conseguir una máxima adherencia con una mínima compactación del suelo, lo cual repercutirá en minimizar las pérdidas por deslizamiento, la reducción del consumo de combustible, y por consiguiente, que se alargue el tiempo de trabajo. Con el crecimiento cuantitativo del parque de tractores y máquinas en la agricultura se producen notables cambios, pues se están utilizando tractores cada vez más potentes, y máquinas combinadas destinadas a trabajar a velocidades más altas con equipos e implementos que poseen un gran frente de labor en la agricultura

Gonzales (2007), el tractor produce patinaje en cualquier operación del campo. La distancia que un tractor se mueva en un número de revoluciones de la rueda motriz se reduce cuando las ruedas patinan. Sin embargo, la distancia recorrida por el tractor en un número dado de vueltas aumenta en algunos casos cuando el implemento montado empuja el tractor como en el caso del cultivador rotativo. También es importante para una buena productividad comprobando que el peso del tractor sea correspondiente al peso del trabajo. En muchas ocasiones el lastre influye y consiste en medir la cantidad de avance en % de patinaje de las ruedas motrices en condiciones normales de campo, la reducción del avance debe de ser de 10 a 15 % para que el trabajo sea económico y eficiente.



1.1. Justificación del Proyecto

El uso de los tractores agrícolas definitivamente a mejorado la producción agrícola del departamento de Puno y a nivel mundial incrementando la producción y reduciendo la mano de obra sin embargo el principal problema del uso de las maquinas sobre el suelo agrícola es definitivamente la degradación de los factores físicos como son la densidad aparente que se traduce como compactación y que significa un deceso en los rendimientos de los cultivos.

Por lo manifestado con anterioridad, los objetivos en estudio fueron:

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general:

- Determinar el efecto de dos coberturas de neumáticos de tractores agrícolas de más de 4200 kg de Peso sobre dos propiedades físicas de un Mollisol en el CIP Illpa.

1.2.2. Objetivos específicos:

- Determinar la diferencia de densidad aparente, porosidad y patinamiento en un Mollisol por efecto del tráfico de 02 tipos de cobertura de neumáticos de tractor agrícola radial y convencional.
- Determinar la presión mecánica que ejercen estos dos tipos de coberturas radiales y convencionales del tractor agrícola en un Mollisol.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Ortiz (2012), la diferencia entre un neumático diagonal y uno radial se hace patente en la designación del neumático: así un neumático convencional se designa como 12.4-24, mientras que el mismo tipo radial se denomina 12.4 R24. Actualmente se prefieren los neumáticos del tipo radial por su mayor adherencia, mejor capacidad de tracción, menor resbalamiento, menor compactación del suelo y menor consumo de combustible del tractor.

Según Mamani (2013), en su trabajo costos operativos por tamaño encontró, que un tractor de 98 HP consume 6.23l/ h de combustible en suelos de rompe y rotación.

Balbuena *et al.* (2003), en su estudio “Compactación de suelos Efectos de tránsito de tracto en sistemas de siembra directa. La compactación se cuantificó a través de los parámetros: índice de cono (lectura con penetrómetro) y densidad aparente en seco, en forma previa y posterior al tránsito de un tractor: seis, ocho, diez y doce veces sobre la misma senda. El suelo al momento del tránsito tenía una humedad promedio de 22%. Utilizó un tractor de tipo 2RM con 71 HP de potencia y 3020kg de masa total. Se comprobó para el sistema en estudio, que a medida que aumentó el número de pasadas con tractores de bajo peso, mayor fue la compactación producida en todo el perfil del suelo.

Zaira J. (2012), reporto que con un tractor de marca John Deere mas arado de disco encontró que la mayor compactación medida en Da. Se dio con 4 pasadas llegando a 1.48 g/cm³, no precisando las características del tractor en cuanto a su masa tampoco



sus dimensiones y tipos de neumáticos, presión de inflado y velocidad de operación que son causa de compactación del suelo.

Los primeros tiempos de la agricultura el hombre trabajaba el suelo con herramientas manuales que se desarrollaron en base a la madera y hierro. Estas herramientas formaron parte de la tecnología agrícola en las culturas prehispánicas como en los andes. El hombre empezó a desarrollar maquinas e implementos cada vez más complejos que le permitían y facilitaban realizar trabajos de mejor calidad, con mayor facilidad y ahorro de mano de obra así reduciendo los costos. A principios del siglo XX la construcción del tractor agrícola, permitió al hombre del campo generar mayor fuerza mecánica en los trabajos de la producción agrícola.

La compactación, que resulta nociva para el desarrollo de los cultivos, difiere del necesario asentamiento, en el que se produce un apoyo entre los componentes del suelo, dejando los suficientes huecos pequeños para que circulen el aire y el agua. Después de la arada, el suelo se asienta gradualmente por la acción de la gravedad, por la influencia del clima y por el peso de las máquinas durante la labranza secundaria y retorna por fin a su estado natural.

Compactación mecánica; el crecimiento de las raíces puede ser restringido por la compactación del suelo o por el valor de tensión del agua.

A bajas presiones, la compactación mecánica es un factor mínimo (0.5 kg/cm^2); la concentración de oxígeno determina el grado de crecimiento de las raíces (mínimo 1%, óptimo 10% de oxígeno).

Las raíces no se alargan bajo altos niveles de compactación mecánica (2 kg/cm^2) cualquiera que sea el nivel de oxígeno. Para una concentración de oxígeno dada, el alargamiento de las raíces decrece en proporción con el aumento de la tensión del agua.



2.2. MARCO REFERENCIAL

2.2.1. Suelo.

Porta *et al.*, (2013), el suelo es un sistema heterogéneo y estructurado, y está desarrollado partiendo de una mezcla de materia orgánica, mineral y nutriente, con capacidad de sostener el desarrollo de los organismos y microorganismos. Su formación parte de la roca originaria por proceso físico, químico y biológico. Los procesos físicos implican la disminución del tamaño de las partículas sin ninguna variación en su composición, y son causados por los efectos ambientales, mientras que los procesos químicos generan la separación de las partículas minerales de las rocas; y su alteración se deben principalmente, a la acción del agua, el ambiente y los compuestos orgánicos. Otros autores consideran que, el suelo representa un sistema abierto al ambiente y la corteza que almacena de forma temporal los recursos necesarios para los seres vivos. El agua, energía, nutrientes minerales, etc. depende de la intensidad y velocidad de los procesos de intercambio entre el suelo y los demás de compartimientos de los regímenes ecológicos

2.2.2. Clasificación taxonómica del suelo

2.2.2.1. Ordenes

2.2.2.2. Alfisol

Porta *et al.*, (2013), son suelos formados en superficies suficientemente jóvenes como para mantener reservas notables de minerales primarios, arcillas, etc, que han permanecido estables, esto es, libres de erosión y otras perturbaciones edáficas, cuando menos a lo largo del último milenio. Tanto la saturación de bases como la reserva de nutrientes disponibles para las plantas, en general altos, determinan la fertilidad de



muchos alfisoles que por ello sirven de asiento para obtener cultivos de ciclo corto y forrajes.

2.2.2.3. Andisoles

Porta *et al.*, (2013), suelos que tienen propiedades ándicas de suelo en 60 % o más del espesor, son suelos desarrollados sobre materiales volcánicos

2.2.2.4. Aridisoles

Porta *et al.*, (2013), son suelos de áreas desérticas y semidesérticas, con un régimen de humedad del suelo árido, poseen epipedón ócrico o antrópico y endopedon argílico o nátrico.

2.2.2.5. Entisoles

Porta *et al.*, (2013), son suelos minerales derivados tanto de materiales aluviónicos como residuales, de textura moderadamente gruesa a fina, de topografía variable entre plana a extremadamente empinada. No tienen horizontes de diagnóstico, suelos recientes, muy poco desarrollados.

2.2.2.6. Inceptisoles

Porta *et al.*, (2013), los inceptisoles del área evaluada son suelos derivados tanto de depósitos fluviónicos como residuales, y están formados por materiales líticos de naturaleza volcánica y sedimentaria. Son superficiales a moderadamente profundos y de topografía plana a quebrada.

2.2.2.7. Vertisoles

Porta *et al.*, (2013), son suelos formados de materiales sedimentarios compuestos por arcillas expandibles, que se tornan muy plásticos y pegajosos cuando están húmedos y muy duros cuando se secan, lo que da lugar a cuarteaduras y fisuras de tamaños y profundidades variables.



2.2.2.8. Mollisoles

Porta *et al.*, (2013), son suelos superficiales a moderadamente profundos, con epipedón mólico, desarrollados de materiales volcánicos y sedimentarios; tienen horizontes superficiales oscurecidos, estructurados en gránulos bien desarrollados de consistencia friable y dotados suficientemente de bases, principalmente Ca y Mg. Presentan topografía que varía entre ligeramente inclinada a extremadamente empinada.

2.2.2.9. Ultisoles

Porta *et al.*, (2013), los ultisoles reconocidos tienen un horizonte argílico de poco espesor y un bajo porcentaje de saturación de base generalmente inferior a 25% dentro de la sección de control del perfil edáfico.

2.2.2.10. Oxisoles

Porta *et al.*, (2013), entre las características más destacadas de los suelos identificados cabe mencionar: alta porosidad, muy friables, generalmente arcillosos, límites de horizonte difusos, muy desbasificados y saturación básica muy baja.

2.2.2.11. Histosoles

Porta *et al.*, (2013), estos suelos albergan fósiles, como la vegetación terrestre del Devónico, son caracterizados por ser orgánico, incluso turboso. En el estado de encharcamiento pueden mostrar condiciones reductoras.

2.2.2.12. Espodosoles

Porta *et al.*, (2013), es un tipo de suelo característico de climas fríos y húmedos o templado frío, con abundantes precipitaciones, que se caracteriza por una alta lixiviación, que propicia que una gran cantidad de sustancias superficiales migren a niveles inferiores. El horizonte B se caracteriza por un alto depósito de óxidos, que confieren a esta capa unas tonalidades rojizas características, y de materia orgánica negra.



2.2.2.13. Gelisoles

Porta *et al.*, (2013), suelos afectados por permafrost. (Capa de suelo permanentemente congelado).

Propiedades físicas del suelo

Rucks *et al.*, (2004), las propiedades físicas de los suelos, determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo determina la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes. Se considera necesario para las personas involucradas en el uso de la tierra, conocer las propiedades físicas del suelo, para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas. Cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas y comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles.

Mazariegos (2016), cita a FAO (1992), con el análisis de las propiedades físicas del suelo indican que la estructura del suelo se deteriora con los cultivos, se recupera con las pasturas, si estas son productivas, y puede tener incidencia en la producción de los cultivos. Las rotaciones de cultivos y pasturas reducen la erosión; comparadas con el cultivo permanente, el beneficio aumenta con la duración y productividad de las pasturas. Se debe evitar tener el suelo descubierto, especialmente en invierno. La reducción del laboreo reduce la erosión y merece estudiarse con más intensidad. La productividad de los cultivos en la rotación aporta al nivel de conservación de suelos.

2.2.3. Compactación del suelo

Ortiz-Cañavate y Hernanz (1989), la compactación se define como el aumento en la densidad aparente debido a un proceso de reestructuración de las partículas del suelo,



que disminuye el espacio poroso e incrementa el contacto entre ellas (Soil Science Society of America, 1996). Según la compactación es un proceso que genera una variación de volumen de suelo bajo la acción de fuerzas de compresión que pueden ser de origen de mecánico (paso de vehículos), o naturales (humectación-desección, impacto de las gotas de lluvia, etc.).

Ortiz-Cañavate y Hernanz (1989), cuando el suelo se somete a la acción de una carga de compresión lo suficientemente grande para originar un cambio de volumen, se encuentran cuatro causales.

- a) Deformación debida a la compresión entre las partículas que integran la fase sólida.
- b) Compresión de la fase gaseosa.
- c) Variación del contenido de líquido y gas en el espacio poroso.
- d) Reordenación de las partículas sólidas.

Ortiz-Cañavate y Hernanz (1989), debido a que las fases sólida y líquida son relativamente incompresibles bajo la acción de una carga, las variaciones en el estado de compactación dependen principalmente de los cambios de posición de las partículas. Para suelos granulares no saturados de humedad, dichos cambios se efectúan por rodadura y deslizamiento entre partículas, mientras que para un estado de saturación dado, el factor que más incide en la variación de volumen, es el movimiento del agua en el interior de la masa de suelo. En general, puede establecerse que la reorganización de los componentes de la fase sólida del suelo es consecuencia primeramente de una variación del volumen de huecos. En ensayos de compresión uniaxial sobre muestras de suelo, se han podido establecer relaciones de tipo empírico entre dicha variación de volumen (cuantificada por la porosidad, índice de huecos, o densidad aparente) y la presión hidrostática ejercida.



Ortiz- Cañavate y Hernanz (1989), las fuerzas que originan la compactación se pueden clasificar en dos grupos:

- 1) Internas.
- 2) Externas.

Las fuerzas *internas* se producen principalmente por los efectos de la humectación y desecación que se traducen respectivamente en un aumento del volumen del suelo debido a la hinchazón de las arcillas y a una posterior retracción. La alternancia de estos procesos hace que se origine una reorientación de las partículas del suelo y un desplazamiento de las mismas que ocupan poco a poco los espacios porosos.

Las fuerzas *externas* son aquellas que se aplican sobre la masa del suelo. Por su origen se distinguen dos tipos:

- a) Mecánicas y b) Naturales.

Ortiz- Cañavate y Hernanz (1989), las de origen *mecánico* fundamentalmente son debido a los vehículos agrícolas, máquinas no suspendidas, y aperos de labranza. Todo vehículo o máquina, a través de sus elementos de propulsión, ejerce sobre el suelo una serie de cargas que causan una deformación del mismo, así como un aumento de la densidad aparente que va disminuyendo en profundidad. La compactación originada por el tráfico de vehículos, u otro tipo de máquinas rodantes, depende entre otros factores de:

- La carga aplicada.
- La superficie de contacto del neumático o cadena con el suelo.
- Tipo de suelo y humedad del mismo.

Ortiz-Cañavate y Hernanz, 1989; Hamza y Anderson (2005), el tipo de suelo tiene una influencia importante sobre su capacidad de compactación, aquellos cuyo contenido de arcilla es medio o alto son los que más problemas pueden presentar. No obstante, la



humedad es el factor que más incidencia directa tiene en el proceso de compactación. Un suelo estructurado y seco presenta un entramado rígido entre sus partículas que le confieren una importante resistencia a la deformación. Al ir aumentando la humedad, dicho entramado se debilita, de manera que al cargarlo sus partículas se reorientan y desplazan unas sobre otras haciendo que la porosidad disminuya. Esta porosidad queda reducida de forma permanente causando una serie de problemas para el desarrollo radicular una vez que el suelo se deseca, así como incrementando la dureza del suelo y disminuyendo su fertilidad física al minimizar el almacenamiento y suministro de agua y nutrientes, lo que ocasiona requerimientos adicionales de fertilización y un mayor costo de producción.

Pagliai *et al.*, (2003), mencionan que entre los factores más importantes y provocantes de degradación física del suelo se encuentra la compactación, la cual ha sido considerada como la principal causa de degradación del suelo.

Keller, J. and Gustafsson, K (2004), el tráfico de la maquinaria agrícola es la principal causa de compactación del suelo esto provoca los cambios drásticos en las propiedades del mismo, la cual tiende a ser de carácter acumulativo.

Berli 2001 y Gysi *et al.*, (2001), durante la aplicación de cargas las partículas del suelo son reorganizadas, decrece el espacio poroso y estas son llevadas a un contacto más cercano, incrementando la densidad de volumen; cambia la forma, tamaño y distribución de los poros, lo cual limita la capacidad de retención del suelo, el intercambio hídrico y gaseoso, y aumenta la impedancia mecánica.

González *et al.*, (2008), una mayor presencia de agua en los poros disminuye la cohesión y debido a la rapidez con que se realiza el tránsito de la máquina agrícola y a la incompresibilidad del agua resulta difícil desalojarla de los poros; disminuyendo la



capacidad de acercamiento y empaquetamiento de las partículas del suelo; lo cual provoca menor cambio de volumen. La humedad del suelo es el factor que mayor influencia tiene en la compactación.

Keller, J. and Gustafsson, K. (2004), una distribución uniforme sobre el área de contacto, puede ser asumida cuando neumáticos que no son los impulsores de gran volumen, sin estrías, están en contacto con suelo duro y seco; para suelos más sueltos o húmedos la distribución de presión en el contacto puede seguir una forma parabólica.

Hamza y Anderson, (2005), durante el proceso de secado se contrae el suelo, disminuye su volumen y favorece el incremento de la densidad. Los suelos arcillosos son más susceptibles a los ciclos de humedecimiento y secado que los demás suelos.

2.2.4. Textura

Rucks *et al.*, (2004), la textura del suelo permite inferir el comportamiento e interacción que éste tiene con el agua y aire presentes, factores indispensables en el desarrollo de un cultivo. La textura resulta de integrar los porcentajes de las fracciones de limo, arena y arcilla; siendo el más predominante responsable de características como aireación, permeabilidad, retención de humedad, entre otras (Montenegro & Malagón, 1990; Quiroz, 2005). Se dice que un suelo tiene una buena textura cuando la proporción de los elementos que lo constituyen le confieren la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición (Rucks *et al.*, 2004). Los suelos con altos contenidos de arena poseen escasa capacidad de retener agua, debido a los grandes espacios entre sus partículas el paso del agua gravitacional es rápido, facilitando así el drenaje, brindando un eficaz movimiento del aire y ofreciendo poca resistencia al laboreo. En caso contrario la dominancia de fracciones finas (arcillas) en un suelo, determina una textura que tiende a retardar el movimiento del agua y aire,



confiriendo al suelo características como altamente plástico, fuertemente adhesivo a altos contenidos de humedad, con alta capacidad de retener agua y difíciles de laborar.

2.2.5. Porosidad

Ramírez y Salazar (2009), esta propiedad está determinada por las características cuantitativas y cualitativas del espacio del suelo no ocupado por sólidos, denominado espacio poroso. Dentro del espacio poroso se distinguen los macroporos y microporos, donde los primeros no retienen el agua gravitacional, y por tanto son los responsables del drenaje y la aireación del suelo, constituyendo además, el principal espacio en el que se desarrollan las raíces. Los demás retienen el agua que estará disponible para las plantas. La porosidad total o espacio poroso del suelo, es la suma de macroporos y microporos. Las 4 características del espacio poroso, dependen de la textura y la estructura del suelo (Rucks *et al.*, 2004). Esta propiedad está íntimamente relacionada con la resistencia a la penetración y la densidad aparente.

2.2.6. Densidad aparente

Smith *et al.*, (2005), se define como la relación de la masa de suelo y el volumen total, es decir, el volumen de partículas más el espacio entre ellas. Esta propiedad es principalmente usada para calcular la porosidad total del suelo y en estudios de relación agua – suelo. Los valores críticos de densidad aparente varían entre 1,05 y 1,90 g cm⁻³ según Venazi *et al.* (2002); Alvarado & Forshyte (2005) y Botta *et al.* (2007). En general, la densidad aparente de los suelos minerales varía entre 0,5 y 1,8 g cm⁻³ (Botta *et al.*, 2003 y Alvarado & Forsythe, 2005). Una alteración en los valores de la densidad aparente puede presentar perjuicios como demora en la emergencia de plántulas, plantas de menor altura que la normal, hojas con coloraciones no características, sistema radicular



superficial, malformación radicular, encostramiento del suelo, encharcamiento, erosión excesiva y aumento en la demanda energética para trabajar el suelo.

2.2.7. Resistencia a la penetración

Herrick y Jones (2002); Lampurlanés y Cantero-Martínez (2003), la resistencia a la penetración es un indicador del nivel de compactación de un suelo. La compactación limita el crecimiento radicular y la cantidad de aire y agua de que disponen las raíces.

Govaerts y Verhulst, (2013), una forma de medir la resistencia a la penetración es calcular la resistencia del suelo al movimiento de un cono de penetración, y dividirla entre la profundidad de penetración. Los penetrómetros pueden ser estáticos o dinámicos. Los estáticos miden la fuerza empleada para empujar una sonda en el suelo a una velocidad constante, en tanto que los penetrómetros dinámicos miden la resistencia a la penetración al golpear la sonda repetidamente en el suelo. Este protocolo describe cómo se usa el penetrómetro dinámico.

2.3. Tracción

Mazariegos 2016, cita a Marrón (2003), la capacidad de traccionar de un tractor agrícola es una sumatoria de factores entre los cuales el neumático juega un rol fundamental. La cosa cambia cuando analizamos si es de tracción simple o asistida o doble, si tiene duales o no, qué tipo de neumático calza, si es radial o convencional, si es de chasis rígido o articulado, si está bien contrapesado, si las duales están montadas sobre un palier extensible, lo cual permite lastrar la externa con agua. Es decir que cuando las potencias aumentan, el motor necesita de un diseño adecuado de chasis y sistema de tracción, el cual será determinante de su capacidad de traccionar a campo tirando el implemento que se le enganche a la barra de tiro.

2.3.1. Resistencia a la rodadura

Gil (1994), la fuerza o el esfuerzo de rodadura es la fuerza horizontal que se debe ejercer para asegurar el desplazamiento del propio tractor. Está ligada a la energía consumida debida a la deformación de las ruedas y a su agarre en el suelo. La resistencia a la rodadura es tanto más elevada cuanto más pesado es el vehículo, cuanto mayor es la deformación de los neumáticos y cuanto más desmenuzado y suelto está el terreno.

Gil (1994), cuando gira, una rueda sometida a un peso (P) encuentra una reacción del suelo (R_s), de la misma intensidad pero con la línea de acción desplazada una distancia (l), por delante del eje de la propia rueda. Para un peso dado, esta distancia varía según la naturaleza del terreno y de las características de los neumáticos (perfil de la banda de rodadura, dimensiones, presión).

La reacción del suelo y el desplazamiento forman un par ($R_s \cdot l$) que se opone al avance. Gil (1994), menciona que este par es igual a una fuerza de rodadura FR que ejercería sobre el eje de la rueda un par contrario al par motor de un valor $FR \cdot r$ (siendo r del radio de la rueda).

$$R_s \cdot l = FR \cdot r$$

$$FR = \frac{l \cdot R_s}{r}$$

Gil (1994), la resistencia o la fuerza de rodadura (FR) es proporcional a la reacción del suelo (R_s) y al peso (P) aplicado sobre la rueda. Por lo que se puede decir que cuanto mayor es el peso sobre las ruedas de un tractor, mayor es la fuerza de resistencia a la rodadura y cuanto mayor es en diámetro de las ruedas, menor es la resistencia a la rodadura



2.3.2. Adherencia de los neumáticos al suelo

De manera general Gil (1994), dice que existe adherencia cuando dos superficies resisten al resbalamiento de una sobre la otra. En este caso se denomina coeficiente de adherencia (CA) al cociente entre la fuerza (F) que tiende a hacer deslizar las superficies, y la fuerza perpendicular (P) que junta las superficies una contra otra:

$$CA = \frac{F}{P}$$

En un suelo agrícola este fenómeno es bastante complejo, ya que la adherencia depende del estado y de la naturaleza del suelo, de la superficie de contacto con el suelo y del dibujo de los neumáticos. Para suelos agrícolas se utiliza entonces el que se denomina coeficiente de tracción (Ct).

2.3.3. Neumáticos

Mazariegos 2016, cita a Marrón (2003), la correcta selección de los neumáticos, la presión de inflado y la carga que se les adicione, permitirán optimizar la tracción para la marcha elegida. El tipo de suelo a trabajar y el estado del mismo (humedad y compactación) será el que determine la combinación ideal de factores para maximizar el rendimiento del neumático agrícola reduciendo el consumo de combustible y el desgaste del mismo.

Mazariegos 2016, cita a Marrón (2003), el neumático agrícola tiene la función primordial de optimizar todos los factores de diseño del tractor para maximizar la tracción. Para ello, tiene que estar correctamente seleccionado y adecuarse a las condiciones de suelo imperantes con la carga correcta (lastrado), presión de inflado, velocidad y condiciones de tracción.

Ortiz (2012), existen dos tipos de neumáticos para tractores agrícolas según como están dispuestos los hilos o cuerdas en los tejidos de la estructura y que se denominan: Diagonales o convencionales y radiales

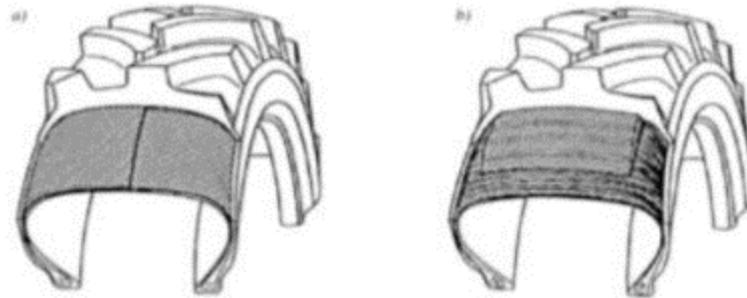


Figura 1. Tipos de neumáticos: Convencional y Radial

Ortiz (2012), en la tabla 1 se muestra un ejemplo del rendimiento relativo de un tractor como es el DEUTZ AX 4.120 TS con distintas dotaciones de neumáticos dadas como opcionales por el fabricante. Datos publicados por el INTA IIR Castelar.

Tabla 1. Rendimiento relativo.

Neumáticos	ESFUERZO DE TRACCIÓN (Kg)	VELOCIDAD DE AVANCE (km h ⁻¹)	CAPACIDAD DE TRABAJO (Ha h ⁻¹)	CONSUMO RELATIVO DE GASOIL (%)
23.1-30	2673	5,8	1,24	98
18.4-34	2612	5,3	1,13	100
DUAL 18.4-34	2673	5,9	1,24	97
18.4-38	2683	5,9	1,25	98
DUAL 18.4-38	2735	6,4	1,36	88
38 18.4 R	2786	6,8	1,45	89

Fuente: Ortiz (2012)

2.3.4. Presión adecuada de los neumáticos

Michelin (2011), una presión demasiado alta de los neumáticos agrícolas genera una compactación excesiva de los suelos y la formación de roderas (en condiciones

húmedas). Una presión de inflado demasiado alta de los neumáticos aumenta la tasa de patinaje del tractor y el nivel de hundimiento en el suelo.

Arnal y laguna (2005), las cubiertas pueden llevar una referencia de utilización que indica en la tabla 2 la presión de inflada recomendada para su utilización. Como se indica en la siguiente tabla, esta referencia tiene relación con el tipo y uso de la cubierta.

Tabla 2. Presiones adecuadas para funciones específicas en neumáticos de tractores agrícolas.

Referencia	Presión (Kg cm-2)	Presión (kPa)	PSI	Uso
*	1.6 kg cm-2	156.906	22.76	Suelo suelto (blando) (campo) (tractores)
**	2.4 kg cm-2	235.36	34.14	Suelo medio (alterno) (campo-camino)
***	3.2 kg cm-2	313.813	45.51	Suelo dura (seco) (camino) (cosechadoras)

2.4. Descripción de la rueda

Gonzales (2007), da a conocer lo siguiente: En la rueda se pueden distinguir dos partes bien diferenciadas: una metálica formada por el disco y la llanta, y otra formada por el neumático propiamente dicho, que consta de cubierta, y en algunos casos cámara. El disco se puede considerar como la unión entre la transmisión y el neumático; va unido mediante tornillos al cubo o brida de la rueda (último elemento de la transmisión previo a la rueda). En la periferia del disco nos topamos con la llanta; se trata de un cilindro metálico, que por un lado se fija al disco y por el otro permite el anclaje del neumático, para facilitar la operación de montaje y desmontaje de la cubierta, la llanta tiene forma hundida en su parte central. El suelo está formado por partículas sólidas que entre si dejan unos espacios porosos, o huecos, capaces de retener agua y aire en proporciones variables. Esto nos lleva a considerar las tres fases: sólido, líquida y gaseosa.

2.5. Medición del patinaje de las ruedas-manualmente

Gonzales (2007), indica que, el mal ajuste del patinaje de las llantas puede ocasionar problemas tales como desgaste prematuro de las llantas, baja eficiencia en la operación del tractor y fallas mecánicas en los componentes de los sistemas que están relacionados con la transmisión de potencia del tractor, ejemplo: diferencial, mandos finales, transmisión, etc. A continuación, se proporciona el procedimiento recomendado para medir en forma manual el patinaje de las ruedas de un tractor:

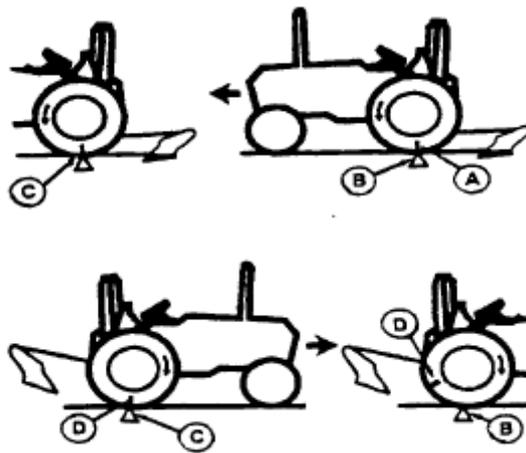


Figura 2. Medición del patinaje de las ruedas-manualmente

1. Colocar una marca (A) fácil de observar en un neumático trasero (se recomienda hacer una marca con tiza).
2. Con el tractor en marcha y el implemento trabajando, marcar un punto de partida (B) en el terreno en el sitio en que la marca (A) de la llanta toca el suelo.
3. Marcar el suelo nuevamente en el punto en que la marca (A) da 10 revoluciones completas (C).
4. Con el implemento elevado, regresar en el sentido opuesto. En el segundo punto marcado en el suelo (C), volver a marcar el neumático (D) por segunda vez.



5. Mientras se conduce el Tractor por la misma trayectoria (con el accesorio levantado), contar el número de revoluciones necesario para alcanzar el punto inicial (B).

6. Usar el número de revoluciones del neumático en trayectoria de regreso y la "Tabla de patinaje de ruedas" para determinar el patinaje.

NOTA: El porcentaje ideal de patinaje es de 10-15% para tractores con tracción sencilla, y de 8-12% para los tractores equipados con mando en las ruedas delanteras.

7. Ajustar el lastre o la carga hasta obtener el patinaje correcto.

NOTA: La potencia disponible del motor se reduce considerable cuando el patinaje de las ruedas está por debajo del mínimo recomendado por:

Tabla 3. Patinaje de la rueda

Tabla de patinaje de ruedas		
Revoluciones de rueda sin carga (paso 5)	Estimación de % de patinaje	Acción que se recomienda
10	0	Retiro de lastre
9 ½	5	Retiro de lastre
9	10	LASTRE CORRECTO
8 ½	15	LASTRE CORRECTO
8	20	Retiro de lastre
7 ½	25	Retiro de lastre
7	30	Retiro de lastre

Fuente: John Deere

2.6. Patinaje

La distancia que un tractor avanza en un número dado de revoluciones de rueda motriz disminuye con el patinaje de las ruedas. Este se puede medir en la polea (toma de fuerza) y en las ruedas, estas determinaciones se realizan por la importancia que tiene en

lo referente al aprovechamiento de esfuerzos y en lo negativo de su presencia, dado el malgasto de combustible, neumáticos y horas de trabajo.

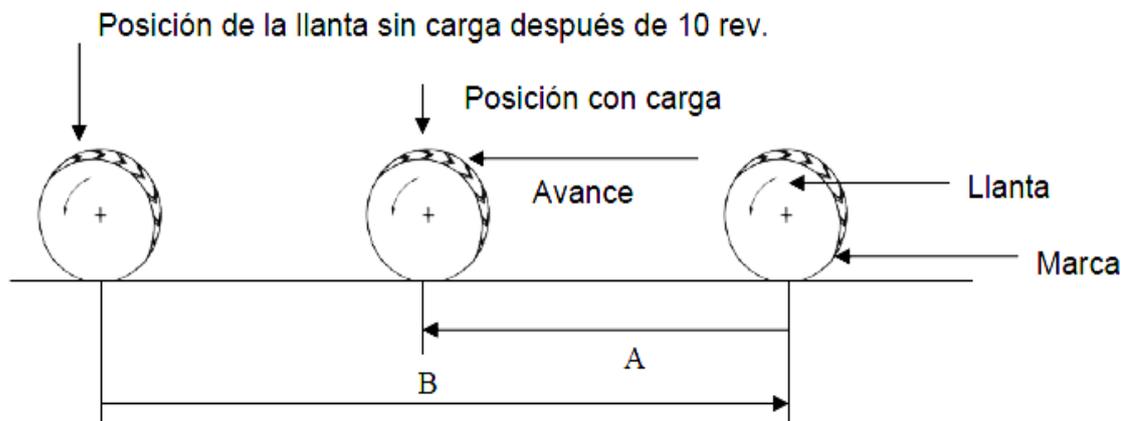


Figura 3. Medición de patinaje

Fuente: RNAM (1983)

$$\% \text{ de Patinamiento} = \frac{\text{Distancia con el tractor en vacío} - \text{distancia con el tractor bajo carga}}{\text{Distancia con el tractor en vacío}} \times 100$$

2.6.1. Velocidad

La velocidad de avance puede ser calculada midiendo el tiempo durante el cual el tractor cargado avanza la distancia medida durante las pruebas de patinaje.

2.6.2. Pérdida de potencia

Hay dos razones por las cuales un tractor pierde potencia bajo una creciente carga en la barra de tiro. Con marchas bajas es debido al excesivo patinaje y con muchas altas es debido a que la velocidad del motor decrece a un nivel menor.

2.6.3. Compactación por patinaje

El patinaje sucede cuando el neumático gira en velocidad mayor que la velocidad del tractor, lo cual, de una manera general, resulta en pérdida de tractor en la barra. El patinaje excesivo provoca deficiencia de deformarse en la barra de tiro y aumenta el

consumo de combustible. Además, contribuye a la compactación del suelo. Cuando los neumáticos patinan su movimiento crea, presión dañando la estructura del suelo.



Figura 4. Compactación por patinaje

2.7. Factores relacionados con la maquinaria agrícola en la compactación del suelo

Raper & Kirby (2006); Hamza & Anderson (2005); Mari & Changying (2008), existen diversos factores los cuales influyen el estado de compactación de un suelo, entre los cuales se tiene el uso de maquinaria agrícola combinado con formas inadecuadas de operación como excesivo laboreo, cargas repetitivas y operación a contenidos de humedad inadecuados; el pastoreo intensivo, la siembra intensiva y la poca rotación de cultivos, entre otros.

2.7.1. Operaciones mecánicas y maquinaria

Hamza & Anderson (2005), el tránsito de maquinaria en zonas planas es algo inherente en la agricultura debido a la gran utilidad que éstas prestan en las labores diarias en cuanto a transporte de implementos, preparación del suelo, distribución de fertilizantes y/o plaguicidas, cosechas y siembras. La compactación causada por el rodado se



caracteriza por la disminución de la porosidad en la zona transitada, aumentos en la resistencia a la penetración, entre otras. Esta compactación depende de las dimensiones de la huella de la llanta, la presión de inflado de ésta y la velocidad de operación (Hamza & Anderson, 2005; Richmond & Rillo, 2006). El pase de implementos de labranza y maquinaria pesada induce la compactación del subsuelo en los diferentes tipos de suelos y condiciones climáticas de los sistemas de siembra (Raper *et al.*, 1998). Oliveira (1998) afirma que el paso de maquinaria para labores forestales afecta fuertemente las propiedades físicas del suelo en la capa comprendida entre los 20 y 24 cm de profundidad. En general se puede decir que cualquier porción de suelo transitada por maquinaria necesita tener unas condiciones mínimas de tránsito de forma que no afecte el desarrollo radicular y el movimiento de agua. Cuando dichas operaciones se realizan en suelos con bajo contenido de humedad, la compactación disminuye significativamente.

2.7.2. Tractor agrícola

Alakuku (1996), el estudio de la compactación causada por el tractor es de suma importancia, ya que este vehículo es el más usado en la agricultura, debido a su versatilidad para acoplar implementos de labranza, sembradores, fumigadores, entre otros. Las causas en la degradación del suelo por el simple tránsito de este vehículo son de gran magnitud, como fue encontrado por autores como Jorajuria & Draghil (2000), quienes afirman que en tractores ligeros, diez pases del tractor es el número crítico a partir del cual se pierden las condiciones óptimas para el desarrollo de los cultivos, especialmente para humedades por encima de la capacidad de campo. Además, la compactación causada puede persistir entre 3 y 11 años en suelos con contenidos de arcilla entre 6% y 85%.



Balbuena *et al.* (2003), ratifican la persistencia de los efectos de compactación a nivel subsuperficial después de un periodo de 3 años, en cuanto a la resistencia a la penetración en suelos franco limosos con humedades entre 23 y 29 %. Tolon *et al.* (2010) aseguran que por encima del quinto pase la presión ejercida sobre el suelo por un tractor 2WD FWA, es causante de la compactación superficial. Botta *et al.* (2009) manifiestan que el segundo y siguientes pases de tractor causan menor compactación que el primero, siendo el quinto pase responsable de la compactación en la capa superficial del suelo concordando con numerosos estudios citados por dicho autor. Cambios del 75% en la densidad aparente y del 90% en el hundimiento total, dentro de las diferentes pasadas sobre la misma senda, luego de la primera pasada, en condiciones de suelos sueltos recién labrados fueron reportados por Botta *et al.* (2002). En cuanto a las propiedades físicas del suelo, los parámetros identificados como críticos en la compactación son la aireación, densidad aparente y resistencia a la penetración (Hakansson *et al.*, 1988, citado por Botta *et al.*, 2009).

Botta *et al.*, (2006), mientras se incrementa el número de pases, en relación con la profundidad y superficie del suelo, se registra un aumento progresivo en la densidad aparente y resistencia a la penetración (Dauda & Samari, 2002; Tolon *et al.*, 2010;; Patel & Mani, 2011), dándose los mayores incrementos en el rango de profundidad de 0 – 30 cm en tan sólo el primer pase de tractor (Jorajuria & Draghil, 2000). Frecuencias de 10 a 12 pases de tractor ligero (3,1 ton) producen incrementos significativos en la resistencia a la penetración y densidad aparente en el perfil de 60 cm.

Bakken *et al.* (2009), no encontraron diferencias significativas en el comportamiento de la densidad aparente utilizando tractores ligeros (2,4 y 3,5 ton) y tractores pesados (6,7 y 5,0 ton) en suelos franco arcillosos pobremente drenados, correspondiendo con lo reportado por Broquen *et al.* (2004), quienes no encontraron



cambios en dicha propiedad para Andisoles bajo uso forestal y ganadería extensiva, con intensidades de tráfico entre 1 y 11 pases de tractores con pesos entre 4,1 y 4,8 ton.

Jorajuria & Draghil (2000), encontraron que los datos de resistencia a la penetración usando un tractor ligero para los niveles de 30 y 53 cm de profundidad en suelo Argiudol, no tenían variación apreciable al pasar una, cinco o diez veces. Balbuena *et al.* (2003) reportan incrementos de resistencia a la penetración relativamente uniformes para 12 pases de tractor en profundidades entre 40-57,5 cm. Autores afirman que en algunos casos existe un aumento lineal de la resistencia a la penetración después del quinto pase y advierten que en suelos de textura fina, la resistencia a la penetración no puede exceder 1 MPa debido a daños en el crecimiento radical.

Botta *et al.*, (2009), en cuanto a rendimientos, estudios sugieren que en algunos casos la compactación puede tener efectos positivos sobre la producción, al proveer mejor sustentación y anclaje del sistema radical (Bennie, 1996), lo cual se verifica en los resultados favorables encontrados en el rendimiento del cultivo de fríjol con 10 pases de tractor en suelos franco arenosos con valores de densidad aparente de 1,58 g cm⁻³ y resistencia a la penetración de 1,37 MPa, presentando mejores rendimientos de grano, humedad de la planta, diámetro del tallo de plantas y altura de planta (Dauda & Samari, 2002). Cárcamo *et al.* (2007) encontraron que la pre-compactación hasta una densidad aparente de 1,41 g cm⁻³ proporciona una mejor relación agua-aire-resistencia mecánica para el cultivo de arveja, lo que se traduce en mejores rendimientos para éste cultivo en suelos de textura franco arenosa.

Por el contrario autores como Jorajuria (1997), encontraron que los valores de densidad aparente por encima de 0,94 g cm⁻³ en profundidades de 0-30 cm producen un descenso del 76% en la producción del cultivo de pasto. Richmond & Rillo (2006)



encontraron que el rendimiento del cultivo de trigo es mayor en 21,9 % en tratamientos sin tráfico. Soza *et al.* (2003) encontraron en suelos con altos contenidos de arcilla, que la resistencia a la penetración por encima de 1,2 MPa reduce en un 26% la emergencia en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum L.*). Botta *et al.* (2006) encontraron valores de densidad aparente superiores a los recomendados (1,2 g cm⁻³ en profundidades de 20 cm) en los cuales se produce una reducción del 30% en la emergencia en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*); Terminello *et al.* (2000) comparando la respuesta a la compactación del rendimiento de distintos cultivos hortícolas, encontraron reducciones del 65% para repollo, 65% para pepino y 55% para maíz dulce.

Botta *et al.*, (2006); Botta *et al.*, (2000), el peso y tipo del tractor puede influenciar la compactación del subsuelo. Autores como Botta *et al.* (2008) observaron que después de los 20 cm de profundidad, el peso del tractor es el responsable de la compactación del subsuelo. Jorajuria & Draghil (2000), encontraron que los tratamientos con tractor pesado causan mayores incrementos en el rango de profundidad de 30-60 cm que los correspondientes al tractor ligero, pero el uso de tractores ligeros implica un incremento en el número de pasadas incrementando en algunos casos la compactación en la capa superior del suelo.

Autores como Terminello *et al.* (2007) y Hamza & Anderson, (2005), resaltan la necesidad de reducir el peso total del conjunto tractor-implemento, pero se debe tener en cuenta que esto implica utilizar equipos más pequeños y por tanto la necesidad de aumentar el número de pasadas sobre cada hectárea de terreno a trabajar, lo cual puede causar mayor o igual compactación que con equipos de mayor magnitud. Por su lado Smith *et al.* (2005) y Hilbert & Pincu (2002) concluyen que, en condiciones de elevada humedad, el tráfico debe reducirse al mínimo indispensable y los vehículos deben portar ruedas que les permitan limitar su presión de inflado. Una medida para minimizar estos



efectos sin restringir la libre utilización de las máquinas, estaría dada por una adecuada selección de neumáticos y presiones de inflado de acuerdo a las cargas dinámicas soportadas.

Gil & Valera (2001), recomiendan quitar el lastre cuando no sean necesarios grandes esfuerzos de tracción, para limitar así la carga sobre los rodamientos y a su vez disminuir el consumo de combustible, sugiriendo adicionalmente aprovechar al máximo el tractor en cada pase, empleando enganches traseros y delanteros para realizar más de una operación a la vez.

Ramos D.(2015), manifiesta que en la época húmeda se obtuvo el mayor incremento de densidad aparente con 24.64% respecto al tratamiento testigo con el tractor de mayor potencia y tamaño (98 HP), frente a los 11.59% que se obtuvo en la época seca con tractor de menor tamaño y mediano (65 HP) La porosidad se redujo en mayor grado en la época húmeda con 27.18% de disminución respecto al testigo en el tractor grande, frente al 13.05% de la época seca para el tractor mediano.

Balbuena *et al.* (2001), en su estudio “Compactación de suelos. Efectos del tránsito del tractor en sistemas de siembra directa” La compactación se cuantificó a través de los parámetros: índice de cono (lectura con penetrómetro) y densidad aparente en seco, en forma previa y posterior al tránsito de un tractor: seis, ocho, diez y doce veces sobre la misma senda. El suelo al momento del tránsito tenía una humedad promedio de 22%. Utilizó un tractor de tipo 2RM con 71HP de potencia y 3020kg de Peso total. Se comprobó para el sistema en estudio, que a medida que aumentó el número de pasadas con tractores de bajo peso, mayor fue la compactación producida en todo el perfil del suelo.



Richmond y Rillo (2005), obtuvieron que el mayor efecto de la compactación sobre el suelo se diera en el estrato superficial. Además la resistencia a la penetración y densidad aparente son mayores en la zona de huella del tractor.

Zaira (2007), luego de comparar los resultados obtenidos del tránsito de dos tractores sobre un suelo obtuvo 50kPa como la mayor lectura del penetrómetro para el tractor de menor potencia y 19kPa para el tractor de mayor potencia, cada uno usando su implemento rastra. Además, obtuvo la mayor medida de densidad aparente como indicador de la compactación, situando al testigo con un valor de 1.34g/cm^3 y el mayor valor de 1.51g/cm^3 para el tractor de mayor potencia y 1.48g/cm^3 y 1.21g/cm^3 como valores de la mayor densidad aparente y el testigo, respectivamente, del tractor de menor potencia. El estudio también indica la reducción de la humedad con 8 pasadas de los tractores de mayor y menor potencia, disminuyendo a 21.14 y 19.4% de humedad, comparando con el testigo que presentó valores de 27.3 y 24.2% respectivamente. De la misma forma se consideró el porcentaje de porosidad del suelo que disminuyó a valores de 35% y 39% comparando con los testigos que tuvieron 43% y 48% respectivamente para el tractor de mayor y menor potencia.

2.7.3. Contenido de humedad del suelo

Trauther & Arvidsson (2003); Mohamed *et al.* (2004); Hamza & Anderson (2005), para algunos autores el contenido de humedad es el principal factor que afecta el proceso de compactación del suelo. Incrementos del contenido de humedad presente en el suelo combinados con operaciones de preparación causan una disminución en la capacidad portante del suelo, incrementos en la deformación y densidad aparente, disminución en la macroporosidad y disponibilidad de aire, haciéndose necesario la



estimación de un contenido de humedad óptimo para el laboreo, en el cual se disminuya al máximo su incidencia en la compactación.

Por otro lado, condiciones de altos contenidos de humedad limitan la disponibilidad de oxígeno en dichos suelos compactados dando lugar a procesos de anoxia y mayor frecuencia en la aparición de algunas enfermedades en los cultivos (Blouin *et al.*, 2008; Gil, 2007). Tarawally *et al.* (2004) encontraron niveles altos de compactación para un Ferralsol (clasificación WRB) al aplicar siete pases de tractor de 10 ton, en estados de humedad de 50% y 38% representando consistencia plástica y friable respectivamente. Gonzalez *et al.* (2008) afirman que el contenido de humedad del suelo durante el tráfico tiene una mayor influencia en la disminución de la porosidad total que la presión ejercida para un suelo franco arcillo limoso. Quiroga *et al.* (1999) sugieren que es significativo comparar los estados de compactación y el contenido de humedad del suelo a la misma profundidad en los perfiles estudiados.

2.7.4. Efecto de los neumáticos

Smith *et al.* (2005), el tipo de neumáticos y su presión de inflado juegan un papel importante en cuanto a compactación del suelo, pues se debe tener en cuenta que el suelo no solo soporta el peso propio de la máquina, sino también fuerzas de tracción y vibraciones. La acción de los neumáticos provoca hundimiento, patinamiento y por ende mayor compactación del suelo.

Diversos autores reportan reducciones en la porosidad e incrementos en la densidad aparente y resistencia a la penetración (Hamza & Anderson, 2005; Mari & Changying, 2008). Botta *et al.* (2000 y 2007) encontraron para suelos de textura arcillosa y humedad del 22%, que hasta el quinto pase de un tractor de tracción simple (2WD) la presión en el área de contacto de la rueda con el suelo es la responsable de la



compactación superficial del suelo, a su vez afirman que los neumáticos con baja relación profundidad de huella/ancho de pisada (P/A), producen mayor compactación a nivel superficial que los de alta relación (P/A).

Nagaoka *et al.* (2003), encontraron ventajas al usar neumáticos radiales en relación a los diagonales por presentar menores valores en la resistencia a la penetración en Latosoles. Botta *et al.* (2001) encontraron que los neumáticos con lastre registran mayores hundimientos, esfuerzo a la rodadura y aumentos de densidad aparente con tan solo un paso de tractor en un Tipic Argiudol.

Diversas soluciones son planteadas para reducir el efecto de los neumáticos en la compactación del suelo, como operar con bajas presiones de inflado incrementando así el área de contacto con el suelo, usar una distribución de carga no homogénea y reducir el contacto rueda-suelo (Hamza & Anderson, 2005); Por otro lado, autores como Alakuku *et al.* (2003) afirman que el uso de distribuciones de carga desiguales favorece sólo la superficie del suelo del efecto de compactación. Gil & Valera (2001) afirman que el pase de maquinaria con rodado realiza en cada pasada dos compactaciones, una causada por el rodado delantero y la otra por el rodado trasero, por lo cual recomienda que este sea igual en cuanto a diámetro y ancho, intentando que la superficie de apoyo sea la misma en los dos ejes.

Keller & Arvidsson (2004), aconsejan para reducir la compactación del subsuelo utilizar doble neumático con bajas presiones de inflado. Arvidsson & Keller (2007) recomiendan estudiar la distribución de las tensiones en los neumáticos para reducir la carga ejercida en el suelo por éstos. En general, la compactación causada por el neumático en las diferentes profundidades es función de un sin número de factores como son la carga



recibida, la superficie de contacto, la carga y disposición de la rueda, la presión de inflado, la presión de contacto y las condiciones del suelo.

Alakuku *et al.* (2003), el conocimiento de estos factores puede ser un indicativo acerca de cómo proceder en condiciones críticas, brindando soluciones específicas como la reducción temporal de presiones de inflado, regulación en las velocidades de operación y utilización de neumáticos radiales de perfil bajo, entre otros.

2.7.5. Intensidad de tránsito

Balbuena *et al.* (2003). Vázquez *et al.* (2007) y Alfonso *et al.* (2000), el tránsito repetido en una misma senda juega un papel importante en la compactación del suelo, debido a que éste incrementa su deformación a medida que hay mayor número de pases, provocando daños en su estructura y por ende ocasionando bajos rendimientos, efecto que puede perdurar por muchos años. El número de pases que afecta de manera crítica las propiedades del suelo es discutido por muchos autores considerando el primer pase como el que induce los mayores cambios, afirman que las sucesivas pasadas de maquinaria profundizan la ubicación de la capa más compactada del suelo.

Terminello *et al.* (2000), encontraron que el paso repetido sobre los surcos origina incrementos en propiedades como la resistencia a la penetración a nivel superficial. Pagliai *et al.* (2003) afirman que intensidades de tránsito mayores a 4 pases de tractores de orugas y neumáticos disminuyen la macroporosidad en la capa de 0-10 cm de profundidad en suelos arcillosos. Botta *et al.* (2003) afirman que el paso reiterado de tractores de bajo peso en el eje y alta presión en la zona de contacto rueda – suelo, induce procesos de compactación subsuperficial del suelo. Alfonso *et al.* (2000) encontraron disminuciones en cuanto a rendimientos en grano en cultivo de frijol a partir de 10 pases



de arado, lo cual se relaciona con baja disponibilidad de nutrientes al reducirse el volumen del suelo, afectando el desarrollo radical.

2.7.6. Presión mecánica

Aplastamiento del suelo y formación de huellas

Ortiz-Cañavate (2005), uno de los efectos perniciosos de la rodadura de los vehículos sobre un terreno agrícola es la compactación del mismo, que en ocasiones puede llegar, combinado con el laboreo, a formar una capa compactada a una profundidad variable (normalmente entre 15 a 25cm) que dificulta el buen desarrollo de las plantas. Este efecto se hace usar más cuanto más suelto y húmedo este el terreno.

Entre las superficies de contacto del neumático y el suelo se ejerce una presión que debería ser igual a la del interior del neumático si las paredes de este fuesen delgadas, pero debido a la rigidez de la cubierta, la presión es mayor en el centro que en los bordes de la superficie de apoyo y también es mayor bajo las nerviaduras.

La presión en la superficie depende de la anchura y de la presión interna de los neumáticos y se propaga en profundidad a modo de esferas isobáricas, disminuyendo la presión a medida que la profundidad aumenta.

Neumáticos diagonales (convencionales)

Ortiz-Cañavate (2005), una técnica práctica y sencilla para ajustar la presión de inflado del neumático, a una condición muy próxima a la ideal, consiste en ubicar a la máquina sobre un suelo firme y plano. Si la técnica fuese aplicada en un tractor, en lo posible deberá estar con la herramienta a utilizar enganchada. Una vez posicionado verificar que, de todos los tacos que se encuentran apoyados sobre el suelo, el taco que se encuentre más centrado respecto del eje de la rueda se eleve, en su extremo exterior, unos

8 mm respecto del piso. Si se eleva menos, estará desinflado y habrá que suministrarle mayor presión de aire hasta alcanzar los 8 mm de elevación. Caso contrario, si supera los 8 mm, habrá que accionar la válvula para permitir la liberación de presión excesiva hasta alcanzar la altura de taco indicada.

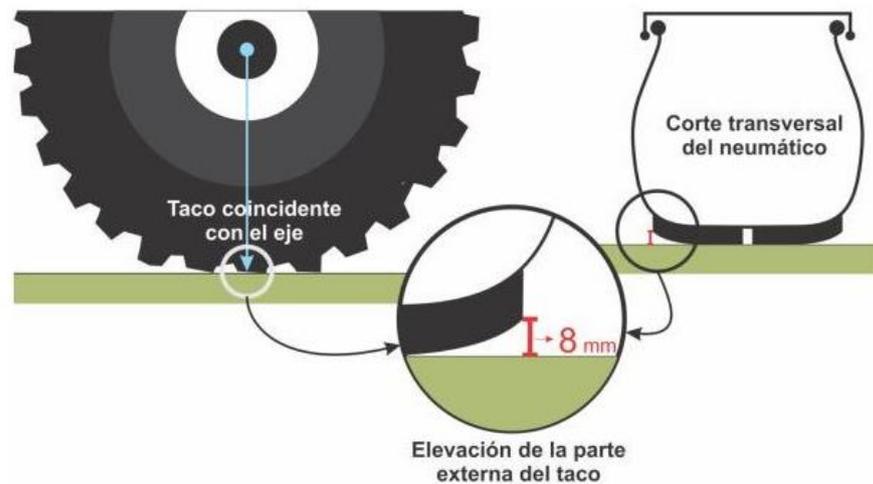


Figura 5. Elevación externa del taco central para lograr la presión de inflado ideal del neumático convencional

Neumáticos radiales

Ortiz-Cañavate (2005), en los neumáticos radiales, a diferencia de los convencionales, el taco central debe quedar completamente apoyado sobre el suelo y lo que se debe verificar es la flexión que se genera en el flanco del neumático (panza). Una condición muy próxima a lo ideal, es lograr que el ángulo inferior de la panza sea de entre 50 y 60°. Si la panza presenta un ángulo mayor a 60°, estará sobre-inflado y se perderán las propiedades beneficiosas del radial.

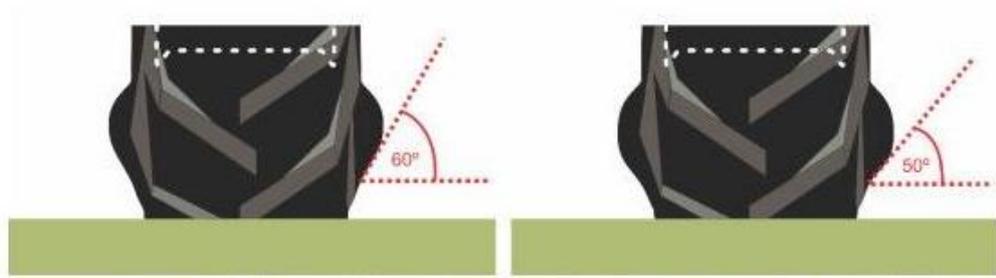


Figura 6. Angulación ideal del flanco del neumático radial como indicador de presión ideal de inflado



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de investigación

En el CIP ILLPA, UNA-PUNO, ubicado en el kilómetro 18 de la carretera Puno – Juliaca. Long. Oeste 70° 4' 50". Latitud Sur 15° 42' 30", con altitud de 3815 msnm., con una extensión superficial de 409.246 ha.

3.2. Tipo de investigación

Se realizó una investigación con enfoque cuantitativo de corte experimental desarrollando un tipo de investigación a nivel explicativo.

3.3. Metodología

3.3.1. Materiales para la realización de pruebas en campo

Según Mamani C. (2004), la Unidad experimental de 01 hectárea perteneciente al orden de suelos Mollisol, dentro del sistema de Taxonomía de suelos. Se forma en áreas semiáridas a semihúmedas, típicamente bajo una cobertura de pasturas, y se halla mayormente en latitudes de la banda de 50 ° N y S del Ecuador, Sudamérica, sudeste de Australia (mayormente sur de Australia) y Sudáfrica.

Su material parental es generalmente calcita, loess, o areniscas, fundamentalmente movidos por el viento. Los procesos principales que coadyuvan a su formación de molisoles de praderas son: melanización, descomposición, humificación y pedoperturbación.

El sector escogido para este trabajo es conocido como Mayu Wito pampa en el CIP Illpa con las siguientes características:



3.3.2. Serie de suelo donde se realizó el estudio

Según Mamani C. (2004) las parcela experimentales en estudio pertenecen a las siguientes series de suelos:

Características de la serie Illpa

- Orden : Mollisol
- Serie : Illpa
- Localización : CIP Illpa, Mayu witu Pampa
- Altitud : 3815 msnm.
- Régimen de humedad : Ustic
- Régimen de temperatura: Frigid
- Fisiografía : Llanura aluvial
- Pendiente : 0-1 %
- Drenaje natural : Pobre
- Evidencias de erosión : Ligera
- Fragmentos superficiales: Libre
- C. por Cap. de uso mayor: P3ciw, A3ciw
- Uso actual : Ganadería extensiva y cultivos
 - Vegetación : Pastos naturales (Stipa, Muhlenbergia, Festuca, Distichlis, Trifolium)
- Material madre : Aluvial fluvial
- Profundidad efectiva : Profundo

Horizontes	Prof. (cm)	Descripción
------------	------------	-------------



A ₁₁	00–15	Pardo rojizo oscuro (5YR 3/2) en húmedo; textura franco arcilloso arenoso; estructura granular fina moderada consistencia firme; raíces medias finas pocas; reacción neutra (6.69); contenido medio de materia orgánica (2.72); permeabilidad moderada; límite gradual.
A ₁₂	15 – 30	Pardo rojizo (5YR 4/3) en húmedo; franco arcilloso arenoso; estructura granular fina débil a moderada consistencia firme; raíces medias, finas pocas; reacción ligeramente alcalina (7.74); contenido medio de materia orgánica (2.31); permeabilidad moderada; límite claro.

Maquinaria Agrícola

T1 – Tractor Test:

- Marca: New Holland de doble tracción.
- Modelo TD05DPLUS 2014
- Potencia: 98 HP.
- Peso: 4200 kg.
- Ancho total: 2190 mm
- Distancia entre ejes: 2160 mm
- Longitud total: 4100 mm
- Neumáticos Radiales
- Delanteros: 12.4 x 24 R1
- Posteriores: 18.4 x 34 R1
- Neumáticos Convencionales
- Delanteros: 12.4 x 24



- Posteriores: 18.4 x 34

Instrumentos y Equipos de Laboratorio

- Cilindros muestreadores.
- Cuchillos.

3.3.3. Metodología para determinar La Densidad aparente.

Método: Gravimétrico.

Para la determinación de la densidad aparente se necesitó tener un volumen conocido, así que se usaron los cilindros muestreadores para extraer suelo inalterado, los mismos que se usaron para la determinación de humedad.

Luego del pesado, las muestras secas (al concluir la determinación de humedad), se registró en la tabla de resultados.

Se calculó el volumen del cilindro muestreador con un vernier.

Con los datos que se obtuvieron, se aplicó la siguiente fórmula para determinar la Densidad Aparente:

$$Da = \frac{MS}{VT}$$

Dónde:

Da: Densidad aparente (g/cm³)

MS: Masa de suelo seco (g)

VT: Volumen total del suelo (cm³)



Determinación de la Densidad de Partícula

- Se determinó por el método del picnómetro y/o fiola:
- Se realizó la numeración y pesado de las fiolas (100 ml.) para anotarlos en el siguiente cuadro (las muestras y las fiolas deben estar completamente secas):
- Se hizo el pesado de 40g de muestra de suelo seco y cernido, y colocar en una fiola.
- Se pesó la fiola con muestra de suelo aún seco.
- Se agregó un poco de agua destilada en cada fiola.
- Se realizó el movido y mezcla hasta mojar toda la muestra dentro de la fiola.
- Se colocó las fiolas sobre una cocinilla y hasta ebullición las muestras durante 5-10min, agitando periódicamente para que no rebalsen.
- Se dejó enfriar hasta una temperatura no mayor de 30°C
- Finalmente se aforó las fiolas con agua destilada, pesarlas y medir la temperatura en cada una.

3.3.4. Determinación de la Porosidad

Porosidad Total

$$\% PT = \frac{Dp - Da}{Dp} * 100$$

Dónde:

% PT: Porcentaje de porosidad total

Dp : Densidad de partícula

Da : Densidad aparente



3.3.5. Determinación de presión mecánica.

Se realizó con el tractor con diferente tipo de cobertura de neumáticos radial y convencional.

Para la determinación de la presión mecánica que ejerce el tractor agrícola se consideró el tipo de tractor agrícola en este caso será el de doble tracción con ruedas de distinto tamaño donde el eje delantero carga el 40% del peso mientras que el eje posterior carga el 60 %, se procedió a calcular la presión mecánica según la siguiente ecuación:

$$Pm = \frac{Qt}{An}$$

Dónde:

Pm : presión mecánica del tractor kg/cm²

Qt : carga total del tractor en kg.

An : área neta de contacto rueda suelo en cm².

De esta forma se determinó la presión mecánica que ejerce el tractor y lo transmite directamente al suelo donde se considerara dos tipos de cobertura de neumáticos: los radiales y convencionales que tienen presiones de inflado distintas, forma del dibujo de la huella distinto y estructura del balón diferente.

3.3.6. Determinación de patinamiento.

Para el rendimiento de trabajo expresado en patinamiento. Como tractor-test, se utilizó el modelo NH TD95D de la marca New Holland, con potencia bruta en el motor de 98 HP a 2.000 rpm, cilindrada de 3.865 cm³ y con tracción doble. El Peso total de ese tractor es de 4.200 kg, con lastre metálico delantero o trasero y sin la adición de lastre líquido en las ruedas motrices traseras. La distribución del peso del



tractor es de 40% en el eje delantero y el 60% en el eje trasero. Durante las evaluaciones, el tractor-test será utilizado con una rotación en el motor de 1.000, 1.500 y 2.000 rpm, en todos los tratamientos, con una velocidad teórica de 3 a 5,5 km h⁻¹. En todos los tratamientos, el tractor permanecerá con el bloqueo del diferencial accionado.

3.4. Análisis Estadístico.

En el presente estudio se empleará un experimento factorial de 2 x 3 x 3 en de un diseño completamente al azar para la prueba de patinamiento, siendo los factores de estudio: Tipos de cobertura de neumático (n), cuyos niveles son n1 Radial y n2 convencional; Carga del motor, cuyos niveles son: c1 nivel bajo, c2 nivel medio y c3 nivel alto y en dos suelos agrícolas: s1 suelo de rompe y s2 suelo de rotación en un Mollisol con 3 repeticiones., con un total de 36 parcelas o unidades experimentales. Para la comparación de tratamientos se utilizará la prueba de comparación múltiple de Tukey.

Modelo matemático.

El modelo lineal del experimento factorial en un diseño completamente al azar es:

$$Y_{ijkl} = \mu + N_i + C_j + S_k + NC_{ij} + NS_{ik} + CS_{jk} + NCS_{ijk} + e_{ijkl}$$

Con $i=1,2$ (n); $j=1,2,3$ (c); $k=1,2$ (s); $r=1,2,..4$ (l)

Dónde:

Y_{ijkl} = Variable de respuesta observado al aplicar el i-ésimo tipo de neumático, j

ésimo nivel de carga, k-ésimo tipo de suelo, en la l-ésima parcela.

μ = Medida general.

N_i = Es el efecto del i-ésimo tipo de neumático.

C_j = Es el efecto del j-ésimo nivel de carga de motor



S_k = Es el efecto del k-èsimo tipo de suelo

NC_{ij} = es el efecto de la interacción de la i-èsimo tipo de neumático con el j-èsimo nivel de carga de motor.

NS_{ik} = es el efecto de la interacción del i-èsimo tipo de neumático con el k-èsimo tipo de suelo

CS_{jk} = es el efecto de la interacción del j-èsimo nivel de carga con el k-èsimo tipo de suelo

NCS_{ijk} = es el efecto de la interacción del i-èsimo tipo de neumático, con el j-èsimo nivel de carga de motor y k-èsimo tipo de suelo.

e_{ijkl} = error experimental.

Variables independientes.

a) **Tipos de cobertura de neumáticos.** Siendo los sub- niveles

- Radial

Delanteros: 12.4 x 24 R1

Posteriores: 18.4 x 34 R1

Presión de inflado 23 psi. (1.62 Kg/cm²)

- Convencional

Delanteros: 12.4 x 24

Posteriores: 18.4 x 34

Presión de inflado 30 psi. (2.11 Kg/cm²)



Figura 7. Neumático Radial y Neumático Convencional

- b) Carga del motor. Siendo los sub-niveles
- Bajo 1000 rpm
 - Medio 1500 rpm.
 - Alto 2000 rpm.
- c) Suelo:
- Suelo de rompe.
 - Suelo de rotación.

Variables dependientes.

Densidad aparente en gr/cm^3 .

Porosidad Total en %

Presión mecánica en kpa

Patinamiento en %.

Variables intervinientes:

Humedad del suelo

Estado de funcionamiento de los tractores y

Habilidad del operador.

Observaciones:

Velocidad de operación en los tres niveles de potencia aplicada en km/h.

Datos meteorológicos de precipitación y temperatura ambiente.

Humedad gravimétrica del suelo.

Pendiente del suelo.

Tabla 4. Análisis de varianza para DCA con arreglo factorial

Fuentes de Variabilidad	Grados de libertad G.L.	Suma de cuadrados SC	Cuadrado medio CM	c	F _{tabulada}	
					.05	.01
NEUMATICO	n-1 = 1	C _n	M _n	n		
CARGA	c-1 =2	C _c	M _{cl}	c		
SUELO	s-1 =1	C _s	M _p	s		
NEUMATICO X CARGA	(n-1)(c-2)=2	C _{sl}	M _{nc}	nc		
NEUMATICO X SUELO	(n-1)(s-1)=1	C _{nc}	M _{ns}	ns		
CARGA X SUELO	(c-1)(s-1)=2	C _{cs}	M _{lcs}	lcs		
NEUMATICO X CARGA X SUELO	(n-1)(c-2)(s-1)=2	C _{ncs}	M _{ncs}	ncs		
ERROR	cs(r-1) =36	SC _e	CM _e			
TOTAL	csr-1=47	SC _{TOT}				

3.5. Conducción del experimento

3.5.1. Fase de Campo

Para determinar los del tipo de cobertura de neumático sobre el suelo, rendimientos se condujo de la siguiente manera:



3.5.2. Estudio Previo al Experimento

La fase experimental de campo se realizó en época seca mes de agosto- setiembre- octubre inicio de campaña agrícola, en terrenos franco arcillo arenosos del CIP Illpa, Mollisol.

- Primeramente, se utilizó el tractor de 98HP sin implemento con el neumático del tipo radial N1 y luego neumático convencional N2 se hará transitar sobre el terreno labrado previamente y con un contenido de humedad uniforme por una distancia de 100 m. cada 10 m. se tomaron muestras de suelo antes y después del tránsito del tractor en el mismo centro de huella con los cilindros muestreadores, para determinar en el laboratorio por el método gravimétrico la D_a (densidad aparente) porosidad total y humedad lo que permitirá observar los cambios en dichas propiedades físicas del suelo a consecuencia de los tipos de neumáticos de tractor.

- La presión mecánica se calculó tomando la fórmula:

$$Pm = \frac{Qt}{An}$$

Los datos de masa del tractor se tomaron de la ficha técnica del fabricante como también las dimensiones de los neumáticos que constan en los mismos calculando la superficie en cm^2 según fórmula.

- En tercer lugar se procedió con el test de patinamiento para lo cual se utilizó una rastra semi pesada de 24 discos de arrastre de 2000 kg de peso como freno. Para la selección de las cargas que impongan diferentes patinamientos al tractor-test, se seleccionó la marcha II y la velocidad 2 a rangos de revolución del motor 1000, 1500 y 2000 rpm donde por medio de pruebas previas, con el objetivo de provocar carga al tractor-test, alcanzando cierto nivel de patinaje. Estas pruebas se realizaron con los dos



tipos de neumáticos para determinar el % de patinamiento que tiene el tractor en el área del experimento, inmediatamente antes de la realización de las pruebas. En el rastra semi pesada se pone a su máxima profundidad donde requiere la máxima fuerza de tracción del tractor-test, se seleccionaban la marcha y la rotación del motor y, con el diferencial bloqueado, se iniciaba el test, midiendo el patinaje del tractor que estará enganchado al implemento por medio de su barra de tiro al implemento como freno consiguiendo simular las resistencia del suelo en el trabajo de un manera constante por un distancia de 49.30 m y 10 vueltas completas de la rueda marcada con tiza debidamente marcado hasta determinar tres niveles de patinaje por diferencia de rotación de ruedas contabilizada en las pruebas en distintos niveles de cargas del motor con diferentes exigencias: una de nivel bajo, una intermedia y otra de nivel alto, esperando alcanzar porcentajes de valores de patinaje distintos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Densidad aparente y porosidad de un suelo Mollisol por el tráfico de 02 tipos de cobertura de neumáticos de tractor agrícola radial y convencional.

4.1.1. Densidad aparente

En la tabla 5, se observa el análisis de varianza para densidad aparente de suelo, en donde se visualiza que para el factor Tipo de neumático (N) existe diferencias estadísticas altamente significativas, indicando que existen diferencias en la densidad aparente por efecto del tipo de neumático; para factor suelo (S) también existe diferencias estadísticas altamente significativas, indicando que existen diferencias en la densidad aparente por efecto del suelo; para la interacción de N x S, existe diferencias estadísticas altamente significativas, indicando que los factores actúan de forma dependiente sobre la densidad aparente. El coeficiente de variación (CV) igual a 0.92% indica que los datos evaluados son confiables para este tipo de experimentos toda vez que las muestras obtenidas fueron lo más homogéneo posible tomándose las muestras exactamente después del paso del tractor sobre la huella donde el terreno era llano y de una misma clase.

Tabla 5. Análisis de varianza para densidad aparente del suelo

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft 0.05	Ft 0.01
Tipo de neumático (N)	1	0.00572033	0.00572033	31.85 **	5.32	11.26
Suelo (S)	1	0.01968300	0.01968300	109.60**	5.32	11.26
N x S	1	0.00120000	0.00120000	6.68 *	5.32	11.26
Error	8	0.00143667	0.00017958			
Total correcto	11	0.02804000				

CV = 0.92 %

Prom. Gral = 1.45

En la tabla 6, se observa que el tipo de neumático Convencional tuvo mayor densidad aparente con 1.48 g/cm^3 , el cual estadísticamente fue superior al tipo de neumático radial con menor densidad aparente con 1.43 g/cm^3 . Lo que nos indica que un neumático radial compacta menos expresado en D_a , que un neumático convencional esto debido a que el área de contacto es mayor en un neumático radial por consiguiente la compactación es menor para este tipo de neumático. Además Zaira (2007) obtuvo la mayor medida de densidad aparente como indicador de la compactación, situando al testigo con un valor de 1.34 g/cm^3 y el mayor valor de 1.51 g/cm^3

Para un tractor Yanmar de 110 HP sin precisar que tipo de neumático se ha utilizado.

Tabla 6. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el factor tipo de neumático sobre la densidad aparente del suelo.

Orden de merito	Tipo de neumático	Promedio de densidad aparente (g/cm^3)	$P \leq 0.05$	Incremento de % densidad aparente
1	Convencional	1.48	A	15.68
2	Radial	1.43	B	12.73

En la tabla 7, se observa que el suelo de rompe tuvo mayor densidad aparente con 1.49 g/cm^3 , el cual estadísticamente fue superior al suelo de Rotación con menor densidad aparente con 1.41 g/cm^3 . Debido a que un suelo virgen no está perturbado y tiene una mayor cohesión es decir menos macroporos y su respuesta al tránsito de maquinaria es incrementarse hasta un 16.24% desde su punto original.

Tabla 7. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el factor del suelo agrícola sobre la densidad aparente del suelo.

Orden de merito	Suelo	Promedio de densidad aparente (g/cm^3)	$P \leq 0.05$	Incremento de % densidad aparente
1	Suelo de rompe	1.49	A	16.24
2	Suelo de rotación	1.41	B	11.49

En la tabla 8, se observa que el tipo de neumático Convencional en el suelo de rompe tuvo mayor densidad aparente con $1.51 \text{ g}/\text{cm}^3$, seguido del tipo de neumático Radial en el suelo de rompe con $1.48 \text{ g}/\text{cm}^3$, los cuales estadísticamente son similares y superiores a las demás interacciones. En último lugar se ubica el tipo de neumático Radial en el suelo de Rotación con menor densidad aparente con $1.38 \text{ g}/\text{cm}^3$.

Al respecto, Ramos D.(2015) manifiesta que en la época húmeda se obtuvo el mayor incremento de densidad aparente con 24.64% respecto al tratamiento testigo con el tractor de mayor potencia y tamaño (98 HP), frente a los 11.59% que se obtuvo en la época seca con tractor de menor tamaño y mediano (65 HP)

Tabla 8. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para la interacción de Tipo de neumático por tipo de suelo sobre la densidad aparente del suelo.

Orden de merito	Tipo de neumático	Suelo	Promedio de densidad aparente (g/cm^3)	$P \leq 0.05$	Incremento de % densidad aparente
1	Convencional	Suelo de rompe	1.51	a	17.35
2	Radial	Suelo de rompe	1.48	a	15.68
3	Convencional	Suelo de rotación	1.45	b	13.93
4	Radial	Suelo de rotación	1.38	c	9.56

4.1.2. Porosidad total

En la tabla 9, se observa el análisis de varianza para porosidad total de suelo, en donde se visualiza que para el factor Tipo de neumático (N) existe diferencias estadísticas altamente significativas, indicando que existen diferencias en la porosidad total por efecto del tipo de neumático; para factor suelo (S) también existe diferencias estadísticas altamente significativas, indicando que existen diferencias en la porosidad total por efecto del suelo; para la interacción de N x S, no existe diferencias estadísticas significativas, indicando que los factores actúan de forma independiente sobre la porosidad total. El coeficiente de variación (CV) igual a 1.95%, indica que los datos evaluados son confiables para este tipo de experimentos.

Tabla 9. Análisis de varianza para porosidad total del suelo

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	c	Ft 0.05	Ft 0.01
Tipo de neumático (N)	1	6.28866408	6.28866408	.37*	5.32	11.26
Suelo (S)	1	36.41128408	36.41128408	8.46**	5.32	11.26
N x S	1	3.71074408	3.71074408	.94 n.s.	5.32	11.26
Error	8	6.01102467	0.75137808			
Total correcto	11	52.42171692				

CV = 1.95 %

Prom. Gral = 44.55

En la tabla 10, se observa que el tipo de neumático Radial tuvo mayor porosidad total con 45.27%, el cual estadísticamente fue superior al tipo de neumático Convencional con menor porosidad total con 43.82%. la porosidad total es la suma de macro poros y microporos, espacios vacíos dejados por lombrices y otros y el tractor con neumático radial reduce menos esta propiedad y es beneficioso para el suelo

Tabla 10. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el factor tipo de neumático sobre la porosidad total del suelo

Orden de merito	Tipo de neumático	Promedio de porosidad total (%)	$P \leq 0.05$
1	Radial	45.27	a
2	Convencional	43.82	b

En la tabla 11, se observa que el suelo de Rotación tuvo mayor porosidad total con 46.29%, el cual estadísticamente fue superior al suelo de rompe con menor porosidad total con 42.80%. Ramos (2015) mantiene que la porosidad se redujo en mayor grado en la época húmeda con 27.18% de disminución respecto al testigo en el tractor grande, frente al 13.05% de la época seca para el tractor mediano. El número de pases que afecta de manera crítica las propiedades del suelo es discutida por muchos autores considerando el primer pase como el que induce los mayores cambios, (Balbuena *et al.*, 2003). Vázquez *et al.* (2007) y Alfonso *et al.* (2000) afirman que las sucesivas pasadas de maquinaria profundizan la ubicación de la capa más compactada del suelo reduciéndose la porosidad de los mismos.

Tabla 11. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el factor suelo sobre la porosidad total del suelo.

Orden de merito	Suelo	Promedio de porosidad total (%)	$P \leq 0.05$
1	Suelo de rotación	46.29	a
2	Suelo de rompe	42.80	b

En la tabla 12, se observa que el tipo de neumático Radial en el suelo de Rotación tuvo mayor porosidad total con 47.57%, seguido del tipo de neumático Convencional en

el suelo de Rotación con 45.01%. En último lugar se ubica el tipo de neumático Convencional en el suelo de rompe con menor porosidad total con 42.64%. Los neumáticos radiales tienen una mayor flotación debido a su mayor elasticidad y mayor área de contacto con el suelo 2184.25cm^2 lo que en un suelo de rotación que tiene más porosidad y un neumático con alta flotación se traduce en una menor pérdida de porosidad. Firestone (2019)

La porosidad total o espacio poroso del suelo, es la suma de macroporos y microporos. Las 4 características del espacio poroso, dependen de la textura y la estructura del suelo (Rucks *et al.*, 2004). Esta propiedad está íntimamente relacionada con la resistencia a la penetración y la densidad aparente (Ramírez y Salazar, 2009).

Tabla 12. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para la interacción de Tipo de neumático por tipo de suelo sobre la porosidad total del suelo

Orden de merito	Tipo de neumático	Suelo	Promedio de porosidad total (%)	$P \leq 0.05$
1	Radial	Suelo de rotación	47.57	a
2	Convencional	Suelo de rotación	45.01	a
3	Radial	Suelo de rompe	42.97	a
4	Convencional	Suelo de rompe	42.64	a

4.1.3. Patinamiento

En la tabla 13, se observa el análisis de varianza para porcentaje de patinamiento, en donde se observa que para el factor Tipo de neumático (N), no existe diferencias estadísticas significativas, indicando que se tiene similares porcentajes de patinamiento en los tipos de neumático; para el factor Carga del motor existe diferencias estadísticas

altamente significativas, lo cual señala que entre las cargas de motor hay diferencias en el porcentaje de patinamiento, para el factor Tipo de Suelo existe diferencias estadísticas altamente significativas, lo cual señala que entre los tipos de suelo hay diferencias en el porcentaje de patinamiento. Para todas las interacciones, no existe diferencias estadísticas significativas, indicando que cada factor actúa de forma independiente sobre el porcentaje de patinamiento en cada interacción. Además, el coeficiente de variación (CV) igual a 5.65% indica que los datos evaluados son confiables para este tipo de experimentos.

Tabla 13. Análisis de varianza para porcentaje de patinamiento

F.V.	.L.	S.C.	C.M.	Fc	t .05	t .01
Tipo de Neumático (N)		0.00289803	0.00289803	0.05 n.s.	.26	.82
Carga del Motor (M)		10.35706717	5.17853358	82.46 **	.40	.61
Suelo (S)		0.78293003	0.78293003	12.47 **	.26	.82
N x M		0.02905939	0.01452969	0.23 n.s.	.40	.61
N x S		0.08419669	0.08419669	1.34 n.s.	.26	.82
M x S		0.03985506	0.01992753	0.32 n.s.	.40	.61
N x M x S		0.03305172	0.01652586	0.26 n.s.	.40	.61
Error	4	1.50712667	0.06279694			
Total correcto	5	12.83618475				

CV = 5.65 %

Prom. Gral = 4.44

En la tabla 14, se observa que el tipo de neumático Convencional tuvo mayor porcentaje de patinamiento con 4.44%, el cual fue superior al tipo de neumático radial con menor porcentaje de patinamiento con 4.43%, los cuales estadísticamente son similares. Sin embargo debemos mencionar es posible que por el estado de conservación de los neumáticos que estaban nuevos al momento de las pruebas hacia que la diferencia sea mínima entre ambos, pero que si en un estado de desgaste mayor al 50% de vida útil del neumático es evidente la diferencia de rendimiento de tracción es decir patinamiento, es excesivo este cuando alcanzan el 80% de desgaste. La separación de estrías de un neumático de radial es de 24 cm y convencional es de 26 cm lo que posiblemente afecte

su rendimiento en el suelo, es decir a mayor número de estrías es menor el patinamiento Firestone (2019).

Tabla 14. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el factor tipo de neumático sobre porcentaje de patinamiento

Orden de merito	Tipo de neumático	Promedio de porcentaje de patinamiento (%)	$P \leq 0.05$
1	Convencional	4.44	a
2	Radial	4.43	a

En la tabla 15, se observa que la carga de motor de 2000 rpm tuvo mayor porcentaje de patinamiento con 5.15%, el cual fue superior a las demás cargas de motor, seguido de la carga de motor de 1500 rpm con 4.30%; en último lugar se ubica la carga del motor de 1000 rpm con menor porcentaje de patinamiento con 3.86%, los cuales estadísticamente son similares. Cuando un motor esta sobrecargado existe un mayor avance en velocidad sin embargo el patinamiento es mayor porque las rpm del motor no se llegan a transmitir de manera efectiva al suelo por la resistencia del implemento más de 2000 kg en estos casos lo que se busca es el óptimo es decir lograr un máximo de tracción cercano al 0% de patinamiento y una velocidad apropiada sin afectar el rendimiento de la maquina es decir h/ha.

Tabla 15. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el factor tipo de neumático sobre porcentaje de patinamiento

Orden de merito	Carga del motor (rpm)	Promedio de porcentaje de patinamiento (%)	$P \leq 0.05$
1	2000	5.15	a
2	1500	4.30	b
3	1000	3.86	c

En la tabla 16, se observa que el suelo de Rotación tuvo mayor porcentaje de patinamiento con 4.58%, el cual estadísticamente fue superior al suelo de Rompe con menor porcentaje de patinamiento con 4.29%. En un suelo ya cultivado es decir rotación la resistencia al avance es mayor y por consiguiente el patinamiento también que en un suelo virgen o rompe que es consistente y la tracción es mayor y el patinamiento menor Machaca (2017).

Tabla 16. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el factor del suelo agrícola sobre porcentaje de patinamiento

Orden de merito	Suelo	Promedio de porcentaje de patinamiento (%)	$P \leq 0.05$
1	Suelo de rotación	4.58	a
2	Suelo de rompe	4.29	b

En la figura 6, se observa que el tratamiento conformado por tipo de neumático convencional más la carga de motor de 1000 rpm más el suelo de Rompe tuvo menor porcentaje de patinamiento con 3.72%. Mientras la carga sea baja es decir a 1000 rpm es posible tener un mínimo de patinamiento mientras que el suelo sea lo más consistente posible y al contrario a mayor carga de motor y un suelo suelto el patinamiento es mayor. Machaca (2017).

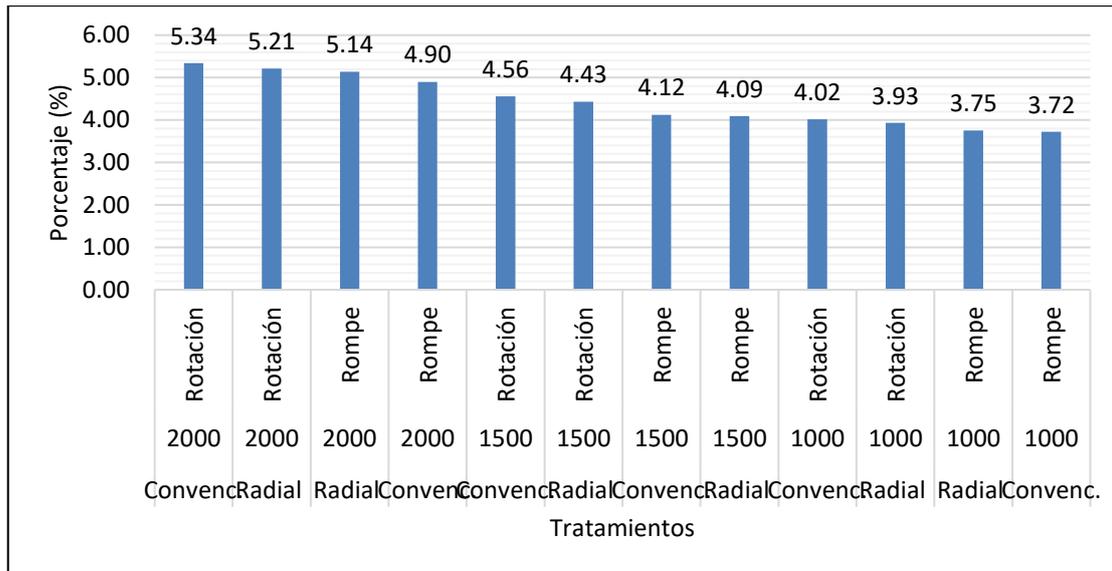


Figura 8. Porcentaje de patinamiento por efecto del tipo de neumático, carga del motor y suelo agrícola.

4.2. Presión mecánica que ejercen estos dos tipos de coberturas radiales y convencionales del tractor agrícola en un Mollisol.

Características

- Neumáticos Radiales 2.54cm (1pulgada)
- Delanteros: 12.4 x 24 R1 12.4 in
- Posteriores: 18.4 x 34 R1 18.4 in

Tabla 17. Calculo presión mecánica en neumáticos radiales

Peso del tractor	200 Kg	arga	Peso por eje Kg	Peso/rueda Kg	Area de contacto cm ²	Presión mecánica Kg/cm ²	Presión mecánica KPa
Peso del eje posterior	0		520	260	2184.25	0.58	56.88
Peso del eje delantero	0		680	40	992.00	0.85	83.36
					Promedio	0.71	69.63

Tabla 18. Calculo presión mecánica en neumáticos convencionales

Peso del tractor	200 Kg	Carga	Peso por eje Kg	Peso/rueda Kg	Area de contacto cm ²	Presión mecánica Kg/cm ²	Presión mecánica KPa
Peso del eje posterior	0		520	260	1735.22234	0.73	71.59
Peso de eje delantero	0		680	40	809.288704	1.04	101.99
					Promedio	0.88	86.30

En las tablas 17 y 18, se visualiza los resultados obtenidos y al comparar con los promedios donde se aprecia claramente que la mayor presión mecánica al suelo lo tienen los neumáticos convencionales por su menor área de contacto medida efectiva en el suelo que el resultado es mayor en el campo y los neumáticos radiales por su mayor área de contacto presiona menos al suelo compactando menos la capa arable del suelo. El peso del tractor expresado en Kg. y el área de contacto con el suelo expresado en cm² es fundamental para poder determinar la presión mecánica, mientras que los neumáticos convencionales tienen una mayor rigidez y funcionan a mayores presiones de inflado (35 PSI) son los que más daño causan al suelo, pero que son más económicos y duran menos (3000 a 4000h) mientras que un neumático radial por su flexibilidad y mayor área de contacto con el suelo puede transmitir mejor la potencia y compactar menos a pesar que su precio es muchas veces 50% más caro pero su vida útil supera las 6000 h de funcionamiento, la alta flotabilidad baja presión de inflado (23 PSI) hace que tenga una mayor ventaja sobre el neumático convencional. Firestone (2019)



V. CONCLUSIONES

La compactación del suelo se ha evaluado directamente en el campo, a través de la determinación de la densidad aparente como mejor indicador de la compacidad del suelo y los resultados son los siguientes:

En la densidad aparente el tipo de neumático Convencional en el suelo de rompe se tuvo mayor respuesta con 1.51 g/cm^3 , incrementándose respecto al testigo 17.35%. Seguido el tipo de neumático Radial en el suelo de rompe se tuvo mayor respuesta con 1.48 g/cm^3 , incrementándose respecto al testigo 15.68%.

En porosidad total, el tipo de neumático radial en el suelo de rotación tuvo mayor porosidad total con 47.57%, seguido del tipo de neumático convencional en el suelo de rotación con 45.01% de porosidad total.

En el porcentaje de patinamiento tratamiento conformado por tipo de neumático convencional más la carga de motor de 2000 rpm más en el suelo de rotación tuvo mayor porcentaje de patinamiento con 5.34%., seguido de tipo de neumático radial más la carga de motor de 2000 rpm más en el suelo de rotación tuvo mayor porcentaje de patinamiento con 5.21%.

En la presión mecánica, el neumático convencional tuvo mayor presión mecánica con 0.88 kg/cm^2 (86.30 KPa). El tipo neumático radial tuvo menor presión mecánica con 0.71 kg/cm^2 (69.63 KPa) las diferencias se deben al área de contacto sobre el suelo.



VI. RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados de la investigación, para ambientes similares se recomienda:

- Se recomienda utilizar los neumáticos radiales por su menor patinamiento y menor compactación de suelos y sus mayores ventajas funcionales y menos agresivas sobre las propiedades físicas del suelo, como en los suelos del departamento de Puno.
- Se recomienda para CIP Illpa que tiene un área cultivada de 60 hectáreas el uso de neumáticos radiales para los tractores de 98 HP porque generan menor compactación de suelos y patinamiento, que los neumáticos convencionales.
- Investigar el efecto de la presión de inflado en neumáticos radiales y evaluar sus rendimientos de tracción y presión mecánica a través del índice de cono, producidos por neumáticos radiales y convencionales sobre distintos suelos.
- Evaluar el consumo de combustible, patinaje y magnitud de fuerza en las labores de preparación de suelos utilizando diferentes tipos de neumáticos a diferentes profundidades de laboreo.
- El resultado del presente trabajo de investigación debe ser considerado como base para un estudio más detallado, de mayor duración y menor compactación, para estimar los efectos del tipo de neumático a utilizar en tractores.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alfonso C., Monedero M., Hernández S., Somoza V., Sánchez L. (2000). *Efecto de la compactación del suelo en la producción de frijol*. Costa Rica: Agronomía Mesoamericana. 53-57 p.
- Arnal Atares, P.V. y Laguna Blanca, A. (2000). *Tractores y Motores Agrícolas*. 3ª edición, Ediciones Mundi-Prensa, Coedición Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 549p.
- Alvarado A. y Forsythe W. (2005). *Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de costa rica*. Costa Rica: Agronomía Costarricense. 85-94 p.
- Balbuena R., Botta G., Draghi L., Rosatto H., Dagostino C. (2003). *Compactación de suelos. Efectos del tránsito del tractor en sistemas de siembra directa*. Argentina: Spanish Journal of Agricultural Research. 75-80 p.
- Berli, M. (2001). *Compaction of agricultural subsoils by tracked heavy construction machinery*, 141p., Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas), Instituto Federal Suizo de Tecnología de Zurich, Zurich, Suiza.
- Botta G., Pozzolo O., Bomben M., Rosatto H., Rivero D., Ressa M., Tourn M., Soza J., Vazquez J. (2007). *Traffic alternatives for harvesting soybean (Glycine max L.): Effect on yields and soil under a direct sowing system*. Argentina: Soil & Tillage Research. 145–154 p.
- Botta G., Balbuena R., Draghi L., Claverie J., Rosatto H. Ferrero C. (2003). *Compactación de suelos. Efectos del tránsito del tractor en sistemas de labranza convencional*. Argentina: Agro Ciencia – Universidad Nacional de Luján. 55 p.
- Botta G., Tolon A., Bellora F. (2009). *Effect of the number of tractor passes on soil rut depth and compaction in two tillage regimes*. Argentina: Soil & Tillage Research. 381–386 p.



- Botta G., Jorajuria D., Draghi L. (2002). *Distribución de la compactación inducida por el tráfico agrícola en un sistema frutícola. Argentina: Investigación Agrícola: Vol. 17 (1).*
- Botta G., Jorajuria D., Draghi L., Dagostino C. (2000) *La profundidad de huella, el número de pasadas y la resistencia a la penetración del suelo. Argentina: Universidad Nacional de la Pampa - Revista Agro Ciencia.*
- Broquen P., Falbo G., Candan F., Pellegrini V., Girandin J. (2004). *Penetration resistance of an humic vitrixerand and vitrandic haploxeroll with different uses. Argentina: Agro Sur. 16-27 p..*
- FAO. (1994). *Principios y prácticas de prueba de evaluación de maquinarias agrícolas y equipos agrícolas. Primera edición. Roma 272p.*
- Firestone (2019) *Descripción y tipos de neumáticos en tractores agrícolas.*
- Frank, Rodolfo. (1977). *Costos de administración de maquinaria agrícola. 1 ed. Edición Universitaria de Buenos Aires. Buenos Aires. 385p.*
- Gil J. & Valera D. (2001). *Estudio de la compactación del suelo por los neumáticos. España: Vida Rural 164: 60-62 p.*
- González, O.; C. Iglesias; M. Herrera; E. López; A. Iznaga (2008). *Efecto de la humedad y la presión sobre el suelo en la porosidad total de un Rhodic Ferralsol”, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 50-54 p.*
- Gonzales, A. (2007). *Diseño de un Dispositivo para Medición de Patinaje en Tractores Agrícolas utilizando un Controlador Lógico Programable (PLC). Tesis de Pregrado. División de Ingeniería. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 119 p.*
- Gilardi, Jaime. (1977). *Reparación de motores de tractores agrícolas 1.ed.tercera reimpresión. Editorial IICA.103:2.p.*



- Govaerts, B., Cox, R., & Verhulst, N. (2013). *Resistencia a la penetración: guía útil para comparar las prácticas de manejo de cultivo*. 67 p.
- Hamza M. & Anderson W. (2005). *Soil compaction in cropping systems A review of the nature, causes and posible solutions*. Australia: Soil & Tillage Research. 121-145p.
- Hilberth J. & Pincu M. (2002). *Compactación y rodadura producida por tres dotaciones de neumáticos*. Argentina: Instituto de Ingenieria Rural – INTA – CIA.
- Jorajuria D. & Draghi L. (2000). *Sobrecompactación del suelo agrícola parte i: influencia diferencial del peso y del número de pasadas*. Argentina: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 445-452 p.
- Jorajuria, D. (1997). *La Resistencia a la penetración como parámetro mecánico del suelo. Metodologías físicas para la investigación del suelo: Penetrometría e infiltrometría*. 43-52 p.
- Machaca, G. (2017). *Comparativo de dos tipos de tractores agrícolas en el laboreo del suelo en el C.I.P Illpa*. UNA-PUNO.
- Mamani, Fidel. (2013). *Rendimientos y costo operativo por el desgaste de discos de arado en el CIP. Illpa*.
- Mamani, Victoriano. (2004). *Evaluación edafológica del Centro de Investigación y Producción Illpa*. Puno, Peru.
- Mari G. & Changying J. (2008). *Influence of agricultural machinery traffic on soil compaction patterns root development, and plan grow, overview*. 2008, China: American-Eurasian J. Agric & Environ. Sci. 49-62 p.
- Michelin. (2011). *la calidad de las cosechas y la conservación de las tierras*.
- Montenegro H. & Malagón D. (1990). *Propiedades físicas de los suelos*. Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.



- Ortiz-Cañavate, J. (2005). *Tractores, tecnica y seguridad*. ed. Mundi-Prensa, Madrid, España. 127-128 p.
- Ortiz-Cañavate, J. y J.L. Hernanz. (1989). *Técnica de la mecanización agraria*. 3ra. ed. Mundi-Prensa, Madrid, España. 133-154 p.
- Porta J., Lopez M. & Poch R. (2013). *Descripción y clasificación Taxonómica del suelo*. España., 420-429 p.
- Ramírez R. & Salazar C. (2009). *Cambios de la resistencia a la penetración en un suelo con diferentes sistemas de manejo y su relación con algunas propiedades físicas en un Andisol-marinilla la montaña*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Ramos, Dawes. (2008). *Mecanización agrícola, maquinas e implementos*. Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno, Perú. 34 p.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades físicas del suelo*. Universidad de la República: Facultad de agronomía. Montevideo, Uruguay.
- Vargas, Abel. (2014) “*Efecto de tipos de tractor sobre las propiedades físicas de dos series de suelo en el CIP Illpa*” tesis ingeniería agronómica UNA-PUNO.
- Zaira, Javier. (2007). “*Compactación de suelos inducida por el uso de maquinaria agrícola en el centro de investigación y producción Illpa*” Tesis Ingeniería Agronómica UNA-PUNO.

ANEXOS

Tabla 19. Calculo de densidad aparente

Densidad Aparente por tipo de Neumático suelo de rotación						
MUESTRA	Peso de Muestra Seca (g)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Volumen cm³	Densidad aparente g/cm³	Humedad (%)
NRM1	123.829	47,980	50,000	90.403	1.370	21.082
NRM2	126.453	47,940	49,970	90.198	1.402	20.854
NRM3	124.218	48,000	50,000	90.478	1.373	19.590
NCM1	129.428	48,000	50,000	90.478	1.430	20.775
NCM2	130.849	47,940	50,000	90.252	1.450	20.758
NCM3	131.050	47,920	49,920	90.032	1.456	19.126
Densidad Aparente por tipo de Neumático suelo de rompe						
NRM1	133.196	47,980	50,000	90.403	1.473	20.481
NRM2	134.691	47,940	49,970	90.198	1.493	20.459
NRM3	134.112	48,000	50,000	90.478	1.482	18.961
NCM1	135.111	48,000	49,980	90.442	1.494	20.481
NCM2	136.581	48,000	50,000	90.478	1.510	20.466
NCM3	136.750	47,960	49,980	90.291	1.515	18.863

Tabla 20. Cálculo de Porosidad total

POROSIDAD TOTAL POR TIPO DE NEUMÁTICO SUELO DE ROTACIÓN												
MUESTRA	Fiola Vacía (g)	Fiola con Suelo (g)	Suelo (g)	Fiola con Suelo y Agua (g)	Peso de Agua (g)	Temperatura °C	Densidad del agua g/cm ³	Volumen de agua g/cm ³	Volumen de suelo cm ³	Densidad Real g/cm ³	Densidad Aparente g/cm ³	Porosidad total
NRM1	46.132	86.206	40.074	171.415	85.208	17.1	0.9988	85.110	14.890	2.691	1.370	49.106
NRM2	53.010	93.016	40.006	177.667	84.652	15.5	0.9991	84.577	15.423	2.594	1.402	45.951
NRM3	53.508	93.603	40.095	178.390	84.787	15.5	0.9991	84.712	15.289	2.623	1.373	47.650
NCM1	53.505	93.514	40.009	178.728	85.214	16.5	0.9991	84.624	15.376	2.602	1.430	45.025
NCM2	53.060	93.065	40.005	178.015	84.949	16.0	0.9990	84.867	15.133	2.644	1.450	45.157
NCM3	53.004	93.004	40.000	177.923	84.919	15.5	0.9991	84.843	15.157	2.639	1.456	44.845
POROSIDAD TOTAL POR TIPO DE NEUMÁTICO SUELO DE ROMPE												
NRM1	53.507	93.505	39.998	178.261	84.756	16.0	0.9990	84.674	15.326	2.610	1.473	43.544
NRM2	53.060	93.085	40.025	177.763	84.679	15.3	0.9991	84.606	15.394	2.600	1.493	42.567
NRM3	53.006	93.108	40.103	177.720	84.611	16.2	0.9990	84.527	15.473	2.592	1.482	42.808
NCM1	53.059	93.065	40.006	177.803	84.738	15.6	0.9991	84.661	15.339	2.608	1.494	42.721

NCM2	52.649	92.650	40.001	177.387	84.737	15.4	0.9991	84.663	15.337	2.608	1.510	42.123
NCM3	52.927	92.930	40.003	177.970	85.040	15.6	0.9991	84.963	15.037	2.660	1.515	43.068

Tabla 21. Datos evaluados de porcentaje de patinamiento

% PATINAMIENTO NEUMATICO RADIAL												% PATINAMIENTO NEUMATICO CONVENCIONAL											
1000 rpm			1500 rpm			2000 rpm			1000 rpm			1500 rpm			2000 rpm								
Rep.	SR	SRT	SR	SRT	SR	SRT	Rep.	SR	SRT	SR	SRT	SR	SRT	SR	SRT								
1	3.854	3.995	4.057	4.665	4.868	4.686	1	3.854	3.995	4.26	4.868	4.665	4.868	4.665	4.868								
2	3.651	3.854	3.854	4.26	5.274	5.477	2	3.55	3.995	3.854	4.462	4.97	5.578	4.97	5.578								
3	3.753	3.955	4.361	4.361	5.274	5.477	3	3.753	4.057	4.26	4.361	5.071	5.578	5.071	5.578								

PANEL FOTOGRAFICO



Figura 9. Tractor agrícola usado en la investigación.



Figura 10. Diferencias entre neumáticos utilizados en la investigación.



Figura 11. Cambio de neumáticos



Figura 12. Marcado de neumático del tractor en suelo.



Figura 13. Medición de área de contacto de neumático.



Figura 14. Medición del área de terreno para laboreo con tractor.



Figura 15. Muestreo de suelo para determinación de densidad aparente.



Figura 16. Pesado de muestras en laboratorio.

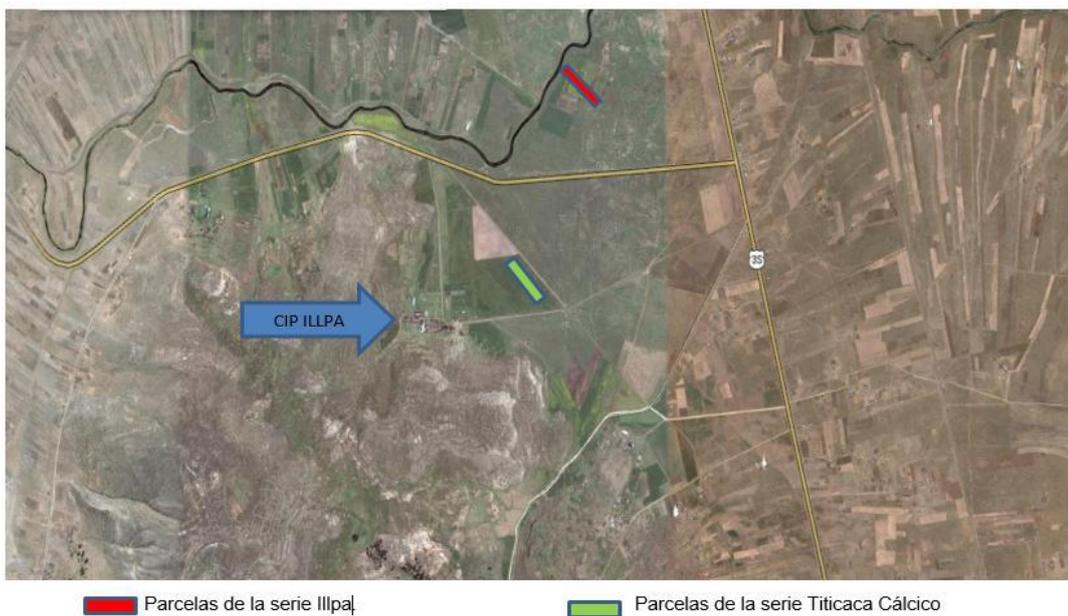


Figura 17. Croquis de ubicación con imagen.



RESULTADO DE ANALISIS

ASUNTO: ANALISIS DE DENSIDAD APARENTE y
POROSIDAD.

PROCEDENCIA : CIP ILLPA, UNA - PUNO
INTERESADO : FENRY VILLASANTE POMARI
MOTIVO : Análisis de Densidad Aparente y Porosidad.
MUESTREO : 27/08/2019
ANÁLISIS : 28/08/2019
LABORATORIO : Agua y Suelo FCA – UNA

Densidad Aparente por tipo de Neumatico suelo de rotacion		
Nº	MUESTRA	Densidad Aparente (g/cm3)
1	NRM1	1.370
2	NRM2	1.402
3	NRM3	1.373
4	NCM1	1.430
5	NCM2	1.450
6	NCM3	1.456

Densidad Aparente por tipo de Neumatico suelo de rompe		
Nº	MUESTRA	Densidad Aparente (g/cm3)
1	NRM1	1.473
2	NRM2	1.493
3	NRM3	1.482
4	NCM1	1.494
5	NCM2	1.510
6	NCM3	1.515

Porosidad por tipo de Neumatico suelo de rotacion		
Nº	MUESTRA	% Porosidad Total
1	NRM1	49.106
2	NRM2	45.951
3	NRM3	47.650
4	NCM1	45.025
5	NCM2	45.157
6	NCM3	44.845

Porosidad por tipo de Neumatico suelo de rompe		
Nº	MUESTRA	% Porosidad Total
1	NRM1	43.544
2	NRM2	42.567
3	NRM3	42.808
4	NCM1	42.721
5	NCM2	42.123
6	NCM3	43.068

Ing. Benito Poma
DIRECTOR DEL LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS

Ing. M.Sc. Daniel Canessa Mamani
JEFE DE LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS

Figura 18. Resultado de análisis de suelo.