

Compaction Evaluation of Vertisol Dedicated to Cultivation of Tomato (*Solanum lycopersicum* Mill)

*Evaluación de la compactación de un Vertisol dedicado al cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* Mill)*

Dr.C. Idalberto Macías-Socarrás^I, Dr.C. Antonio Barrera-Amat^I, Dr.C. Benjamín Gaskin-Espinosa^{II},
Dr.C. Alain Ariel de la Rosa-Andino^{II}, M.Sc. Yordanka Aguilera-Corrales^{II}

^IUniversidad Estatal de la Península de Santa Elena (UPSE). Facultad de Ciencias Agrarias. Santa Elena, Ecuador.

^{II}Universidad de Granma, Bayamo, Granma, Cuba.

ABSTRACT. Different traffic intensities of the tractor John Deere 4630 were evaluated in a Vertisol soil, subjected to a primary preparation with a Big Rome. The results indicated that in dry season, the soil was compacted to a depth of 0-15 cm, however, the air incomplete variant without counterweight (AIS) showed the highest penetration resistance with a value of 433 kPa, influencing, in this case, a smaller amount in percent (%) of organic matter in the soil (2,68%), the value of the bulk density (BD) was 1,17 g cm⁻³, which shows that the soil had a fairly appreciable effect. Analyzing the comparison of means for different traffic intensities of the running system, it showed that with greater number of passes of the equipment, penetration resistance increased and it was only attenuated by the high presence of gravimetric moisture (Ho) and organic matter (OM). In the correlation analysis, correlating Rp (30cm) with Rp (45cm), it had a value of 0,48 and significant at 5% of Tukey test, so in this level Rp (30cm) with Ho (30cm), had a value of -0,62 and highly significant at 1%.

Keywords: traffic, bulk density, tractor

RESUMEN. Se evaluaron diferentes intensidades de tráfico del tractor modelo John Deere 4630 en un suelo vertisol, sometido a una preparación primaria con un Big Rome. Los resultados indicaron que en este suelo en época de sequía, el suelo se vio compactado a una profundidad de 0-15 cm, sin embargo la variante aire incompleto sin contrapeso (AIS) fue la que mayor resistencia a la penetración mostró con un valor de 433 kPa, influyendo en este caso una menor cantidad en por ciento (%) de materia orgánica en el suelo 2,68%, el valor de la densidad aparente (DA) fue de 1,17 g cm⁻³, lo cual muestra que el suelo tuvo una afectación bastante sensible. Analizando la comparación de medias para las diferentes intensidades de tránsito del sistema de rodaje del tractor, el mismo mostró a mayor número de pasadas del equipo, aumentó la resistencia a la penetración y solo se vio atenuado por la alta presencia de humedad gravimétrica (Ho) y la materia orgánica (MO). En el análisis de correlación, al correlacionar Rp (30cm) con Rp (45cm), el mismo tuvo un valor de 0,48 y significativo al 5%, test de Tukey, así también en este nivel la Rp (30cm) con Ho (30 cm), tuvo un valor de -0,62 y altamente significativo al 1%.

Palabras clave: tráfico, densidad aparente, tractor

INTRODUCTION

Compactness is the decrease of the porous space, especially of macro pores, which results in less aeration at root level, lower capacity to retain water, nutrients and finally higher impedance for the development of the root system (Jorajuria & Draghi, 2000; Gutierrez *et al.*, 2012; Van Quang *et al.*, 2012; Nasiri *et al.*, 2013; Cardoso *et al.*, 2016).

Jorajuria & Draghi (2000), Marlats *et al.* (2001), and Gutierrez *et al.* (2012), define surface compactness as the compaction produced in the arable horizon and as subsurface

INTRODUCCIÓN

La compactación, es la disminución del espacio poroso, especialmente de los macro poros, lo cual trae como consecuencia una menor aireación a nivel de las raíces, menor capacidad de retención de agua, nutrientes y finalmente una mayor impedancia para el desarrollo del sistema radical (Jorajuria y Draghi, 2000; Gutiérrez *et al.*, 2012; Van Quang *et al.*, 2012; Nasiri *et al.*, 2013; Cardoso *et al.*, 2016).

Jorajuria y Draghi (2000), Marlats *et al.* (2001), y Gutiérrez *et al.* (2012), definen a la compactación superficial como la com-

compactness that one produced below the normal depth of farming work.

It is necessary to state that the running- in vehicles system's function and particularly agricultural tractors can be defined as the link between the vehicle and the soil, supporting a value of normal weight established and providing such a contact surface that does not exceed the bearing capacity of the soil.

Solari *et al.* (2000), explain that the ground must be able to deliver a net traction force to drag the various farming tools and machines that move on it; in this sense, agricultural soil is always deformable.

Running resistance, associated with agricultural tractors driving behavior, should be presented in values that allow satisfying the demands of traction requested in each work, while improving the tractive efficiency and reducing soil compactness (Gonzalez *et al.*, 2009).

The running of the tractor on a ground depends on the sinking of the wheels when moving on it. It constitutes the subtraction of a certain part of the tangential force that reaches the wheel being necessary to overcome the resistance of the ground to the pass of the tractor. This element is calculated to evaluate approximately the traction capacity of the tractor, which decreases as much as the mechanical resistance of the soil, the section of the rubber and the wheel radius increase, and the tractor's weight is reduced when operating with tires deflecting in a 20% of the section height, and on agricultural soils that are not excessively compacted (Gysi *et al.*, 2001).

Surface compaction must be differentiated from subsurface compaction in a first distinction of effects. The first involves the topsoil and it usually occurs by the use of machinery in the mass and ground pressure (remaining aggregative action) used in high humidity conditions or on soils with a higher susceptibility to compaction (Håkansson *et al.*, 1988; Håkansson, 1994).

Subsurface compaction is that which is transmitted to the subsoil, at depths of about 40 cm which deepening could be rather superior due to mass effect and the equipment power, its gear vibration, the high value of tires inflation, high ground-cover contact pressure (aggregate added, as well as by the skid action (Hamza & Anderson, 2005).

All these are always negative, destructive, long - lasting effects and can behave almost as permanent as in the desired situation for road construction.

The compaction phenomenon produced by agricultural traffic shows a complex solution and / or prevention, since it is carried out independently of the fact that it could have been possible to provide it with sufficient wheeled size or other high flotation engine mechanism to allow traffic with low surface pressure in the wheel / ground contact area. It has been shown that although surface compaction is mainly dependent on the specific pressure, subsurface compaction is due to the mass of the equipment (Håkansson & Reeder, 1994).

Botta *et al.* (2012) and Obour *et al.* (2016) demonstrated negative effects of traffic as yield losses of crops due to over compaction of soil, drain reduction and increase in loss of usable

compactness produced in the arable horizon and as subsurface compaction to the produced below the normal depth of plowing.

Es necesario plantear que la función del sistema de rodaje de los vehículos y en particular de los tractores agrícolas, puede definirse como: el vínculo entre el vehículo y el suelo, soportar un valor de carga normal impuesta y brindar una superficie de contacto tal, que no sobrepase la capacidad portante del suelo.

Solari *et al.* (2000), plantea que el suelo debe de ser capaz de entregar una fuerza neta de tracción para arrastrar los distintos aperos y máquinas agrícolas que se desplazarán sobre él, en este sentido el terreno agrícola es siempre deformable.

La resistencia a la rodadura, asociados al comportamiento de la tracción de los tractores agrícolas, deberían presentarse en valores que permitan satisfacer los requerimientos de tracción solicitados en cada labor, a la vez de mejorar la eficiencia tractiva y reducir la compactación del suelo (González *et al.*, 2009).

La rodadura del tractor en un suelo está en función del hundimiento de las ruedas al desplazarse sobre él y constituye el descuento de una cierta parte de la fuerza tangencial que llega a la rueda necesaria para vencer la resistencia que opone el terreno al paso del tractor. Este elemento se calcula para evaluar de forma aproximada la capacidad de tracción del tractor, disminuye a medida que aumenta tanto la resistencia mecánica del suelo, como la sección del caucho y el radio de la rueda, y disminuye el peso del tractor, cuando se opera con neumáticos que deflectan en un 20% de la altura de la sección, y sobre suelos agrícolas que no se compactan excesivamente (Gysi *et al.*, 2001).

En una primera distinción de efectos corresponde diferenciar compactación superficial de subsuperficial. La primera, involucra a la capa arable y normalmente ocurre por el empleo de maquinaria de bajo la masa y presión sobre el suelo (acción agregativa remanente) utilizadas en condiciones de alta humedad o sobre suelos con mayor susceptibilidad a la compactación (Håkansson *et al.*, 1988; Håkansson, 1994).

La compactación subsuperficial, es la que se trasmite hasta el subsuelo, en profundidades de alrededor de 40 cm pudiendo profundizarse bastante más por efecto de la masa y la potencia de los equipos, su vibración en la marcha, el elevado valor de inflado de las cubiertas, la alta presión de contacto suelo-cubiertas (lastre agregado), como también por el patinaje (Hamza y Anderson, 2005).

Todos estos, son siempre efectos negativos, destructores, de larga duración pudiendo llegar a comportarse como casi permanentes, tal como la situación buscada para las construcciones viales.

El fenómeno de compactación producido por el tráfico agrícola es de compleja solución y/o prevención, ya que se realiza con independencia de que se haya logrado dotarlo de suficiente tamaño de rodado, u otro mecanismo motriz de alta flotación, que le permita el tráfico con baja presión superficial en el área de contacto rueda/suelo. Se ha demostrado que si bien la compactación superficial es principalmente dependiente de la presión específica, la subsuperficial lo es de la masa de los equipos (Håkansson y Reeder, 1994).

Botta *et al.* (2012), y Obour *et al.* (2016), demostraron efectos negativos del tráfico como, pérdidas de rendimiento de los cultivos debido a la sobre compactación del suelo, reducción del drenaje e incrementos en las pérdidas del agua utilizable, aumento de la erosión del suelo debido a la reducción de la in-

water and soil erosion due to reduction of infiltration and higher energy costs due to the increase of soil reaction to farming work.

This work is aimed at determining the compaction level, density variation and penetration resistance caused by the technologies of farming work to different depths and their influence on the performance of a clayey soil dedicated to the cultivation of tomato (*Lycopersicon sculentum*, Mill).

METHODS

Location of the experiment

The parish church San Francisco de Cara, Urdaneta, Aragua State, Venezuela (Figure 1) has great quantity of agro-climatic resources. Being a large producer of vegetables, with a great contribution to local food, this area has shown a decrease in production in the last ten years which obliges farmers deviating to other items exploitation.

filtración y mayores costos energéticos producto del incremento en la reacción del suelo ante los trabajos de labranza.

El presente trabajo persigue determinar el nivel de compactación y variación de la densidad y resistencia a la penetración, ocasionada por las tecnologías de labranza, para diferentes profundidades y su influencia en el rendimiento, de un vertisol dedicado al cultivo del tomate (*Lycopersicon sculentum*, Mill).

MÉTODOS

Ubicación del experimento

La parroquia San Francisco de Cara, municipio Urdaneta, Estado Aragua, Venezuela (Figura 1), cuenta con grandes recursos agroclimáticos, y se caracterizaba por ser gran productora de hortalizas, con una gran contribución a la alimentación local. En los últimos diez años ha registrado una disminución de la producción, motivado a que los agricultores se inclinen a la explotación de otros rubros.

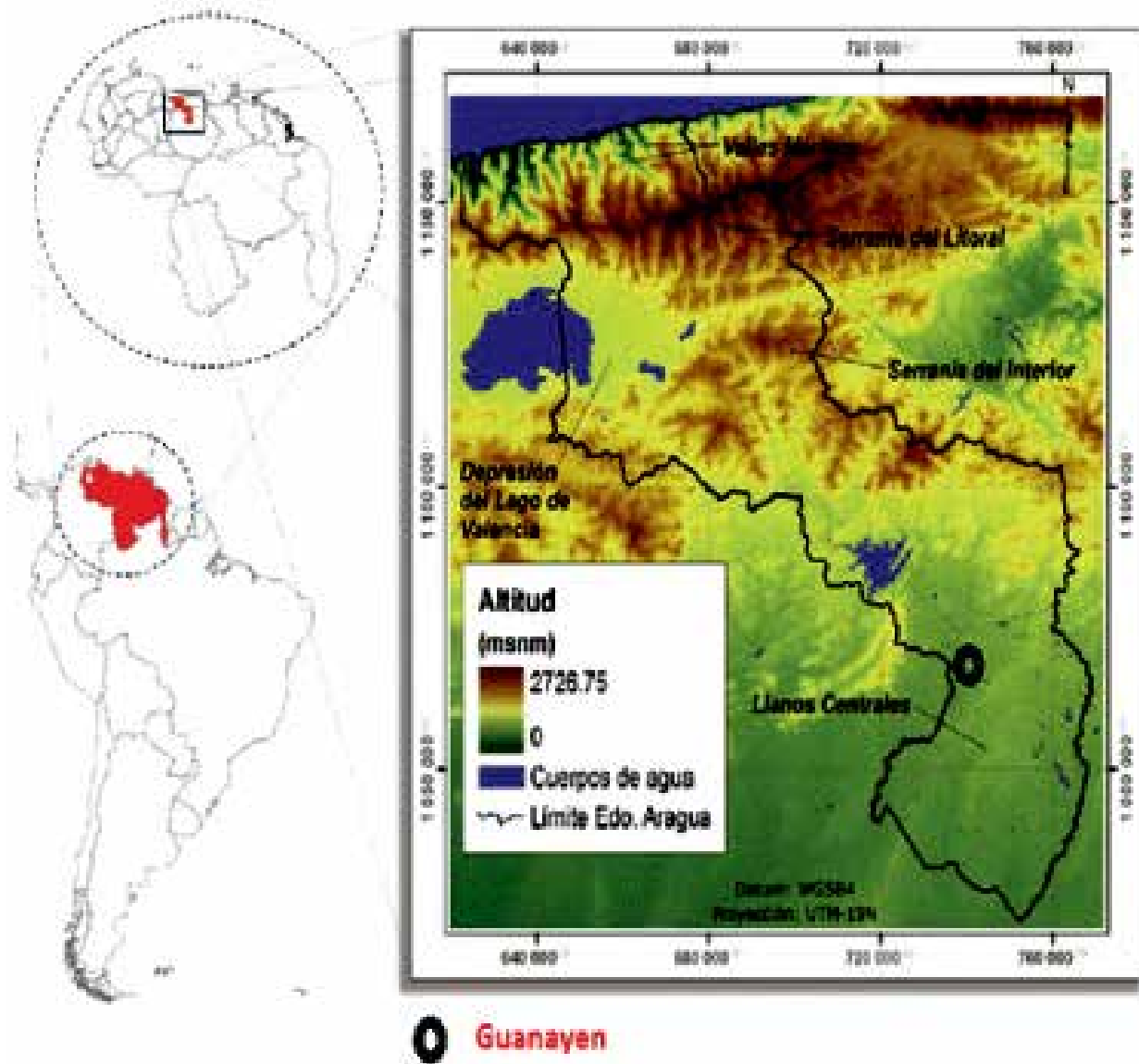


FIGURE 1. Geographic location of the site where the experiments were developed
FIGURA 1. Ubicación geográfica del sitio donde se realizaron los experimentos.

Sampling and laboratory analysis

Three samples were taken every 15 cm of depth (15, 30 and 45 cm) after each pass of the tractor, at different periods throughout the experiment and the following determinations were made:

- Apparent density (AD, Mg m^{-3})
- Resistance to penetration.
- Percentage of humidity (Ho).
- Total Porosity (Po, %)
- Organic matter (OM, %)

Agricultural machinery used

The driving source used in the experiment is the John Deere model 4630 (formula 4x2) (Figure 2).

Muestreos y análisis de laboratorio

Se tomaron 3 muestras cada 15 cm de profundidad (15; 30 y 45 cm) después de cada pasada del tractor, en diferentes épocas a lo largo del experimento, se determinó:

- Densidad aparente (DA, Mg m^{-3})
- Resistencia a la penetración
- Porcentaje de humedad (Ho)
- Porosidad total (Po, %)
- Materia orgánica (MO, %)

Maquinaria agrícola empleada.

La fuente motriz utilizada en el experimento, es de la marca John Deere modelo 4630 (fórmula 4x2), (Figura 2).



FIGURE 2. Tractor John Deere model 4630 used in the experiment
FIGURA 2. Tractor empleado en el experimento John Deere modelo 4630.

Experimental design used and tractor's placement

An experimental design of divided and subdivided plots completely randomized with twelve treatments and three repetitions was carried out.

The statistical program used was Statistic 6.0, where ANOVA, test for means comparison, correlation analysis and sum of squares for F values were performed.

Approximate crop yield determination

A frame of 1 m^2 was taken and placed on the ground by matching with the row (distance between a row and its consecutive one). The number of plants contained in the area was recorded. The next step was to count the number of fruit per plant and later tomato fruit were harvested to be weighed on a scale with a precision of 0.01 g. The fruit mass was averaged and

Diseño experimental utilizado y disposición del tractor

Se emuló un diseño experimental de parcelas divididas y subdivididas completamente aleatorizadas con doce tratamientos y tres repeticiones.

El programa estadístico utilizado fue el Statistic 6.0, donde se efectuaron el ANOVA, prueba de comparación de medias, análisis de correlación y suma de cuadrados para los valores de F.

Determinación del rendimiento aproximado del cultivo

Se tomó un marco de 1 m^2 y se colocó en el suelo, haciendo coincidir con la calle (distancia entre una hilera y la otra consecutiva), se registró el número de plantas contenidas en el área, el siguiente paso fue contar la cantidad de fruto por planta,

that result was multiplied by the total area covered by the crop in the three last years, determining this way, the approximate yield of the crop (Figure 3).

posteriormente se cosecharon los frutos de tomate para llevarlos a un pesaje apoyados en una balanza con precisión 0,01 g), se promedió la masa de frutos, ese resultado fue multiplicado por el área total que abarcó el cultivo en los tres últimos años y se determina el rendimiento aproximado del cultivo (Figura 3).

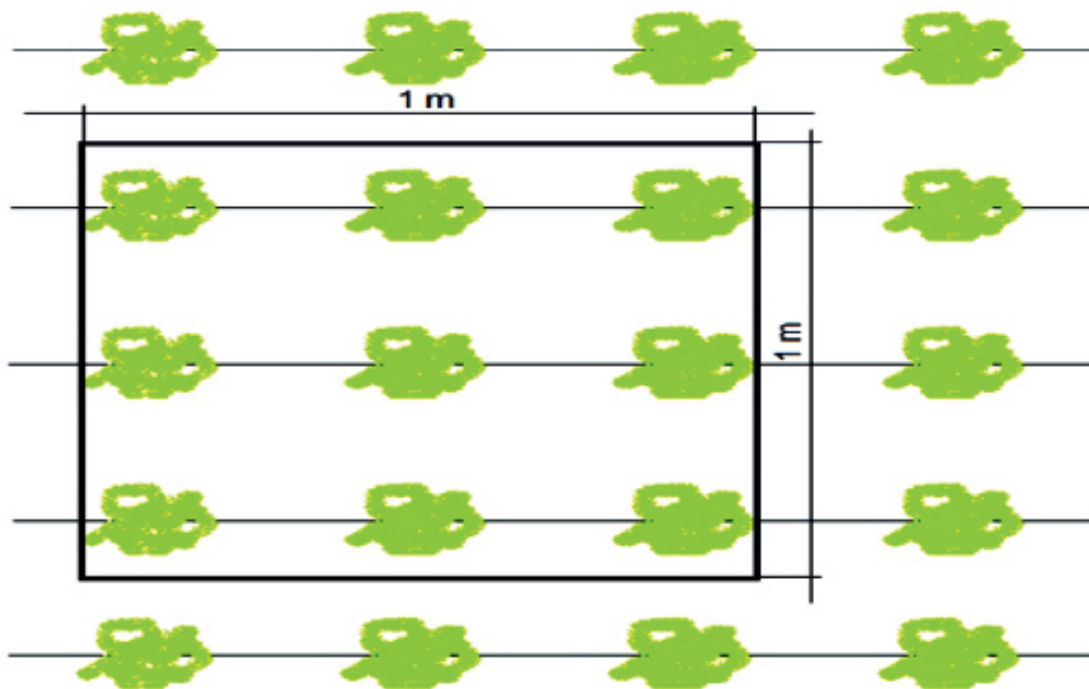


FIGURE 3. Sampling to determine yield of tomato crop
 FIGURA 3. Toma de muestra para determinar rendimiento del cultivo del tomate.

DISCUSSION AND RESULTS

In Table 1, it is evident the trend towards the increase of compaction with the rise of intensity or number of passes of John Deere tractor model 4630. This type of tractor was chosen due to its widespread use among farmers in the region of San Francisco de Cara, Urdaneta Municipality, Aragua State, Venezuela, in the works of soil preparation.

The results show that there are only differences between variants of three and ten passes when the tractor goes five times over the field.

It is necessary to note that the levels where compaction has a great influence are upper and lower levels, since the intermediate affectation is not as sensitive as at these levels, in which the moisture content plays a decisive role (Botta *et al.*, 2012; Obour *et al.*, 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1, se puede observar la tendencia en el aumento de la compactación con el aumento de la intensidad o número de pasadas del tractor John Deere modelo 4630, este tipo de tractor fue escogido por tener un uso difundido entre los agricultores de la región de San Francisco de Cara, municipio Urdaneta, Estado Aragua, Venezuela, en las labores de preparación de suelos.

En los resultados se observa que solo existen diferencias, entre las variantes de tres y diez pasadas cuando se hace transitar el tractor cinco veces por el campo.

Es necesario tener en cuenta que los niveles donde más influye la compactación es el nivel superior e inferior, ya que en el intermedio la afectación no es tan sensible como en estos niveles, en los cuales el contenido de humedad juega un papel determinante. (Botta *et al.*, 2012; Obour *et al.*, 2016).

TABLE 1. Degree of compaction of the tractor, without taking into account the variant used and the number of passes or traffic of the tractor on the cultivation soil (4630)

TABLA 1. Grado de compactación del tractor, sin tener en cuenta la variante utilizada y por el número de pasadas o tráfico del tractor sobre el suelo de cultivo (4630)

Number of passes	0 a 15 cm (%)	15 a 30 cm (%)	30 a 45 cm (%)
3	22,89	9,92	-1,49
5	18,47	7,44	-11,19
10	26,68	10,28	-6,46

Statistically analyzing the different variables measured in the treatments (Table 2), it was found that there are no significant differences between replicas for the different levels of resistance to penetration, except for depth level of 0 to 15 cm and for the different soil moisture variables (Ho), apparent density (AD), organic matter (OM) and soil porosity (Po) which were not significant. In the factor only significant differences were detected at 5% in the three depth levels for soil moisture (Ho), as well as those same levels in soil apparent density (AD). Significant differences were revealed in the first two levels of depth (0 to 15 cm and 15 to 30 cm) and in this order soil porosity (Po) showed differences of 5%, which is an index of soil compaction presence as a function of tractor loads in its transit through the field of labor.

In the interaction of replicas by (Factor A), only soil porosity (Po) showed significance at 5% at depth level of 30 to 45 cm.

In the different traffic intensities (Factor B), apparent density for depth levels of 15 to 30 cm and of 30 to 45 cm, was significant to 5%, as well as soil porosity for these depth levels. The other variables analyzed showed no significance.

Tractor load factors and different traffic intensities (Factor A by Factor B) were not significant for any of the variables analyzed.

Al analizar estadísticamente las diferentes variables medidas en los tratamientos (Tabla 2), se encontró que no existen diferencias significativas entre repeticiones para los diferentes niveles de resistencia a la penetración, con la excepción del nivel de profundidad de 0 a 15 cm y para las diferentes variables humedad de suelo (Ho), densidad aparente (DA), materia orgánica (MO) y porosidad del suelo (Po), se comportaron no significativas; en el factor sólo se detectaron diferencias significativas al 5% en los tres niveles de profundidad para la humedad de suelo (Ho), así como esos mismos niveles en la densidad aparente (DA) del suelo, también se detectaron diferencias significativas en los dos primeros niveles de profundidad (0 a 15 cm y 15 a 30 cm) y en este orden mostraron diferencias al 5% la porosidad del suelo (Po), lo cual es un índice de la presencia de compactación del suelo en función de las cargas o lastre del tractor en su tránsito por el terreno de labor.

En la interacción repeticiones por (Factor A), sólo mostró significación al 5% la porosidad del suelo (Po) en el nivel de profundidad 30 a 45 cm.

En las diferentes intensidades de tráfico (Factor B), la densidad aparente para los niveles de profundidad de 15 a 30 cm y de 30 a 45 cm fueron significativos al 5%, así como la porosidad de suelo para estos niveles de profundidad, las demás variables analizadas no mostraron significación.

Los factores lastre en el tractor y diferentes intensidades de tráfico (Factor A por Factor B), no fueron significativos para ninguna de las variables analizadas.

TABLE 2. Sum of squares and values of F for resistance to penetration (Rp) at different depths and soil moisture (Ho), with four different loads (methods) in the tractor and different intensities of traffic in a clayey soil, in San Francisco de Cara, Urdaneta, Aragua, Venezuela, 2013

TABLA 2. Suma de cuadrados y valores de F para la resistencias a la penetración Rp a diferentes profundidades y humedad del suelo Ho, con cuatro diferentes lastres (métodos) en el tractor y diferentes intensidades de tráfico en un suelo vertisol, en San Francisco de Cara, Urdaneta, Aragua, Venezuela, 2013

Fuentes de Varianza	Q. L	Rp (tPa) 15 cm	Rp (tPa) 30 cm	Rp (tPa) 45 cm	Ho (%) 15 cm	Ho (%) 30 cm	Ho (%) 45 cm	Da (g/cm ³) 15 cm	Da (g/cm ³) 30 cm	Da (g/cm ³) 45 cm	Mo (%) 15 cm	Mo (%) 30 cm	Mo (%) 45 cm	Po (%) 15 cm	Po (%) 30 cm	Po (%) 45 cm
REP	3	1580*	2885	0427	0,103	18,470	33,836	0,002	0,002	0,001	0,330	0,073	0,003	3,942	1,878	1,942
A	4	0513	0692	0746	25,78**	38,044*	75,956*	0,017*	0,010*	0,010*	4,301*	1,885*	0,480	11,087*	8,021*	5,909
REP*A	3	0196	1290	0837	2,608	15,349	6,188	0,002	0,004	0,004	0,361	0,118	0,063	3,808	3,542	7,759*
B	2	0890	0060	0110	0,702	13,58	15,166	0,004	0,011*	0,011*	0,753	0,235	0,327	5,916	8,947*	12,530*
A*B	6	0048	0403	0139	3,299	5,206	14,048	0,002	0,001	0,001	0,924	0,544	0,478	2,910	2,427	2,411
CV		10,165	33,148	30,826	11,868	18,857	16,619	4,125	4,148	4,148	21,847	23,200	32,592	3,116	2,420	3,254
X		4,183	3,088	1,889	14,351	16,273	21,314	1,146	1,176	1,176	2,888	2,533	2,178	56,847	56,415	55,760
Error		0,180	1,048	0,339	2,901	9,417	12,548	0,002	0,002	0,002	0,398	0,345	0,504	3,139	1,864	3,288

*, ** Significativo al 5% ó 1%, respectivamente

*, ** Significant at 5% or 1%, respectively

While analyzing the coefficient of variation (CV) for each of the variables and for the different levels of depth, it is observed that there is a low behavior (10,16%) in the resistance to penetration (Rp) in the level of 0 a 15 cm, which can be considered as normal. However, for the two lower levels exceed the 30%, which is possible because of the high clay content. (Table 3).

The C.V for the other variables shows acceptable values, taking into account the observations noted above.

Analizando el coeficiente de variación (C.V.) para cada una de las variables y para los diferentes niveles de profundidad, se observa que hay un comportamiento bajo (10,16%) en la resistencia a la penetración (Rp) en el nivel de 0 a 15 cm, lo cual puede plantearse como normal, sin embargo para los dos niveles inferiores sobre pasan el 30%, lo cual es posible por el alto contenido de arcilla (Tabla 3).

Los C.V. para las demás variables se muestran valores aceptables, teniendo en cuenta las observaciones anteriormente señaladas.

Analyzing the arithmetic mean comparison test (Table 4) of the minimum difference showed in the different variables (Factor A) that in the resistance to the penetration of the soil to 15 cm of depth there are three groups of means, in which the variant (AIS) shows the best result with 433 kPa, containing (MO) of 2,68%.

In the variable (ACC), which must have a higher compaction because it has a smaller contact area with the soil and therefore a specific pressure of 64,09 kPa, the result is 415 kPa of resistance to penetration (Rp) in the tractor's mark with a soil moisture (Ho) of 13,33%. However, the content of (MO) was 3,44% and the (DA) of 1,17 g cm⁻³, the latter a high score compared to that shown by the control. At the depth level of 15 to 30 cm, the resistance to penetration that showed the highest arithmetic value was the incomplete air variant with counterweight (AIC), accompanied by the lowest value in soil moisture content and the highest value in (DA), with 1,20 g cm⁻³, behavior which is totally justified. It should be noted that also for this level in the variant analyzed the value of the (MO) is 2,12%, the lowest within this level and also the one with the minimum statistical value within the group analyzed.

When carrying out depth analysis corresponding to the lower level (from 30 to 45 cm), by comparing means, the highest value corresponds to the complete air variant with counterweights or ballasts (CAC) with a penetration resistance of 218 kPa and the highest value of content (Ho), with a 18,41%, the (DA), 1,18 g cm⁻³. That shows a behavior according to the specific pressure or bearing mass unloaded by the tractor in such conditions on the ground during the tractor's transit. Variant (AIC) is in the second position within this group with a Rp of 214 kPa and 18.71% of soil moisture, (DA) with a value of 1,22 g cm⁻³ and (MO) with 1,87%, which shows a logical reflection for the variant analyzed, noting that at this depth level the clay content is 47% (Table 4).

The other variants at this depth level are below these values, which shows that the behavior in the physical properties and the (MO) in the soil also determine that a soil, in these conditions, may be more or less tending to increase compaction depending on the type of primary soil preparation.

Analizando la prueba de comparación de medias (Tabla 4) de la diferencia mínima mostró en las diferentes variables (Factor A), que en la resistencia a la penetración del suelo a 15 cm de profundidad existen tres grupos de medias, en el cual la variante (AIS) es la que muestra el mayor resultado con 433 kPa, con un contenido de (MO) de 2,68%.

En la variable (ACC), el cual debe tener una mayor compactación por tener un menor área de contacto con el suelo y por lo tanto una presión específica de 64,09 kPa, el resultado es de 415 kPa de resistencia a la penetración (Rp) en la huella del paso del tractor, con una humedad del suelo (Ho) de 13,33%, sin embargo el contenido de (MO) que fue de 3,44% y la (DA), de 1,17 g cm⁻³, esta última un resultado alto respecto a lo mostrado por el testigo. En el nivel de profundidad de 15 a 30 cm, la resistencia a la penetración que mostró mayor valor aritmético fue la variante aire incompleto con contrapeso (AIC), acompañado del menor valor en contenido de humedad del suelo y el de mayor valor en (DA), con 1,20 g cm⁻³, lo cual está plenamente justificado este comportamiento, debe tenerse en cuenta que también para este nivel en la variante analizada el valor de la (MO), es de 2,12%, siendo el más bajo dentro de este nivel y también el de menor valor estadístico dentro del grupo analizado.

Al realizar el análisis de la profundidad correspondiente al nivel inferior (de 30 a 45 cm), la comparación de medias, que el valor mayor lo tiene la variante aire completo con contrapesos o lastres (ACC) con una resistencia a la penetración de 218 kPa y el mayor valor de contenido de (Ho), con un 18,41%, la (DA), 1,18 g cm⁻³, lo cual muestra un comportamiento acorde a la presión específica o masa portante que descarga el tractor en tales condiciones sobre el suelo, durante el tránsito que el mismo efectúa. En segundo lugar de este grupo se encuentra la variante (AIC), con una Rp de 214 kPa y una humedad de suelo de 18,71%, la (DA), con un valor de 1,22 g cm⁻³ y la (MO), con 1,87%, lo cual muestra un reflejo lógico para la variante analizada, no dejando de soslayar que en este nivel de profundidad el contenido de arcilla es del 47% (Tabla 4).

Las demás variantes en este nivel de profundidad están por debajo de estos valores, lo cual muestra que el comportamiento en las propiedades físicas y la (MO), en el suelo también determinan el que un suelo en estas condiciones pueda ser más o menos proclive al aumento de la compactación en función del tipo de preparación de primaria suelos.

TABLE 3. Means comparison of tractor model 4630, finding the average of information from physical and chemical properties variables, according to depth levels evaluated in San Francisco de Cara, Urdaneta, Aragua, Venezuela, 2013

TABLA 3. Comparación de medias del tractor modelo 4630, promediando la información de las variables de las propiedades físicas y químicas, por niveles de profundidad evaluadas en San Francisco de Cara, Urdaneta, Aragua, Venezuela, 2013

Fuentes de Varianza	Rp (kPa) 15 cm	Rp (kPa) 30 cm	Rp (kPa) 45 cm	Ho (%) 15 cm	Ho (%) 30 cm	Ho (%) 45 cm	Da (g cm ⁻³) 15 cm	Da (g cm ⁻³) 30 cm	Da (g cm ⁻³) 45 cm	Mo (%) 15 cm	Mo (%) 30 cm	Mo (%) 45 cm	Po (%) 15 cm	Po (%) 30 cm	Po (%) 45 cm
ACC	415 ab	285 a	218 a	13,33 b	16,68 ab	18,41 b	1,17 a	1,17 a	1,18 a	3,44 b	2,93 b	2,42 a	56,05 a	56,00 a	55,75 a
AIC	424 ab	350 a	214 a	13,27 b	13,91 b	18,71 b	1,18 a	1,20 a	1,22 a	2,37 b	2,12 c	1,87 b	55,59 a	55,09 a	54,42 a
ACS	425 ab	292 a	161 a	15,08 b	16,46 ab	23,08 ab	1,12 a	1,14 ab	1,15 a	2,44 b	2,19 c	2,17 ab	57,71 a	57,17 a	56,46 a
AIS	433 a	316 a	157 a	14,01 b	16,11 ab	32,00 ab	1,14 a	1,15 ab	1,17 a	2,68 b	2,51 bc	2,34 ab	57,25 a	56,94 a	56,13 a
TESTIGO	341 b	282 a	201 a	19,43 a	22,04 a	27,45 a	1,02 b	1,08 b	1,10 a	4,70 a	3,62 a	1,88 b	59,17 a	58,05 a	56,55 a

Las medias con la misma literal dentro de cada columna son iguales estadísticamente (Tukey, p<0,01)

Means with the same letter within each column are statistically equal (Tukey p<0.01) ACC- Tractor with full air and counterweights in the running-in system
 IAC- Tractor with incomplete air and without counterweights in the running-in system ACS - Tractor with full air and without counterweights in the running-in system. AIS
 -Tractor with incomplete air and without counterweights in the running-in system

TABLE 4. Analysis of clayey soil texture, object of the research in the Center for Research and Extension in Soils and Waters (CIESA)

TABLA 4. Análisis de textura del suelo vertisol, objeto de la investigación en el Centro de Investigación y Extensión en Suelos y Aguas (CIESA)

Depth, cm	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
0 to 10	56,4	25,6	20,0
10 to 30	52,4	23,6	30,6
30 to 50	24,4	19,6	47,0

The different variables (Factor A) are presented in Figure 4, establishing a comparison between each of them with the specific pressure on the ground, as result of the different loads of the tractor depending on the area of its running-in system.

When analyzing compaction behavior, based on resistance to penetration and the mass per unit of tractor's area, it can be stated that this is a way of increasing compaction in such a way that it provokes a plowing ground that can limit the radical growth of plants. In this sense, only an adequate care and incorporation of organic matter to the soil can help to reduce the compaction by the repeated traffic and mass of tractors in the farming area. These statements coincide with the criteria of Håkansson & Reeder (1994), Jorajuria & Draghi (2000), and Mur & Hernan (2014).

Finally, the yields for the last two years was determined and as it is observed in Figure 5, the difference is not significant, although an increase in 2016 can be appreciated.

En la Figura 4 se presentan las diferentes variables (Factor A), las cuales se comparan cada una de ellas con la presión específica sobre el suelo, dadas por las distintas cargas del tractor en función del área de su sistema de rodaje.

Al analizar el comportamiento de la compactación, a través de la resistencia a la penetración y la masa por unidad de área del tractor, se puede plantear que esta es una manera de aumentarla de forma tal que llega a crear un piso de aradura que puede limitar el crecimiento radical de las plantas y solamente un correcto cuidado e incorporación de materia orgánica en el suelo puede ayudar a disminuir la compactación por el tráfico reiterado y masa de los tractores en el suelo de cultivo, lo cual es coincidente con lo planteado por Håkansson y Reeder (1994), Jorajuria y Draghi (2000), y Mur y Hernán (2014).

Finalmente se determinó el rendimiento correspondiente a los dos últimos años, como podemos observar en la Figura 5 la diferencia no es significativa, aunque se aprecia que en el año 2016 existe un incremento del mismo.

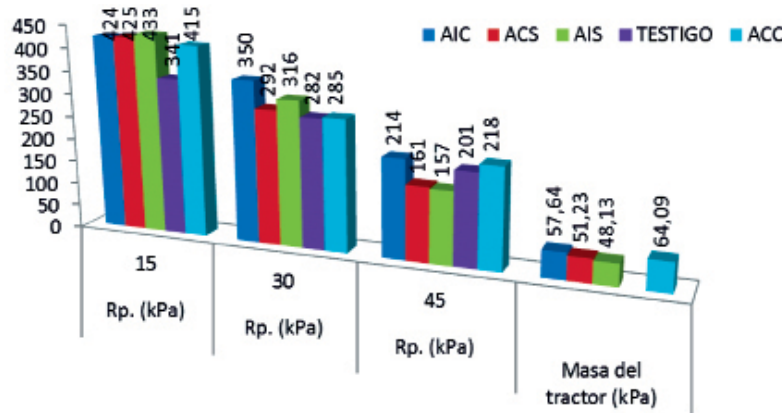


FIGURE 4. Resistance to penetration (Rp) in the different variables (FAC, IAC, FAW, IAW and control) depending on the tractor's specific pressure on the ground
 FIGURA 4. Resistencia a la penetración (Rp) en las diferentes variables (ACC, AIC, ACS, AIS y testigo) en función de la presión específica sobre el suelo del tractor.

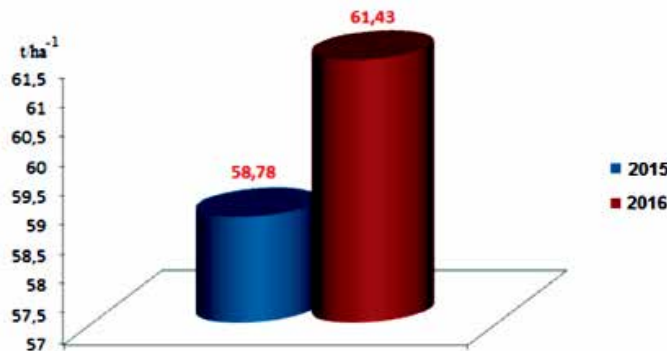


FIGURE 5. Yields corresponding to the years evaluated.
 FIGURA 5. Rendimiento correspondiente a los años evaluados.

CONCLUSIONS

- The resistance to penetration (Rp) had significant increases when organic matter in the soil was smaller, in equal traffic conditions of the tractor's running- in system.
- The apparent density (AD) increased with the pass of the running- in system, in low presence of organic matter.
- The load added to the tractor for the primary and complementary preparation, affects the specific resistance on the topsoil (0-15 cm) and the subsurface (15-30 cm).
- In the 30 to 45 cm depth levels, in the variant (three tractor passes), the resistance to penetration was higher due to the high clay presence and lower soil gravimetric humidity.
- In the soil surface layer, in the presence of a high content of organic matter, the differences in resistance to penetration are not significant and they are only detectable with the increase of the apparent density.
- The properties of the organic matter amortize the negative effect of the apparent density (AD), by maintaining in balance aeration and soil moisture.

CONCLUSIONES

- La resistencia a la penetración (Rp) tuvo aumentos sensibles cuando la materia orgánica en el suelo, fue menor, en igualdad de condiciones de tráfico del sistema de rodaje del tractor.
- La densidad aparente (DA) se incrementó al paso del sistema de rodaje, en baja presencia de materia orgánica.
- El lastre adicionado al tractor para la preparación primaria y complementaria, afecta la resistencia específica en la capa superficial del suelo (0-15 cm) y la subsuperficial (15-30 cm).
- En los niveles de 30 a 45 cm de profundidad en la variante (tres pasadas del tractor) la resistencia a la penetración fue mayor por la alta presencia de arcilla y un menor contenido de humedad gravimétrica en el suelo.
- En la capa superficial del suelo, en presencia de alto contenido de materia orgánica las diferencias en resistencia a la penetración no son significativas y solo es detectable la misma con el aumento de la densidad aparente.
- Las propiedades de la materia orgánica amortiguan el efecto negativo de la densidad aparente (DA), al mantener en equilibrio la aireación y la humedad del suelo.

REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOTTA, G.F.; TOLON-BECERRA, A.; TOURN, M.; LASTRA-BRAVO, X.; RIVERO, D.: "Agricultural traffic: Motion resistance and soil compaction in relation to tractor design and different soil conditions", *Soil and Tillage Research*, 120: 92-98, 2012, ISSN: 0167-1987, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2011.11.008>.
- CARDOSO, G.; WANDERLEY, R.C.; SOUZA, M.L.C.: "Physical attributes of a pasture soil in southeast Goiás determined by geostatistics", *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering*, 36(1): 143-151, 2016, ISSN: 1809-4430, DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n1p143-151/2016>.
- GONZÁLEZ, C.O.; IGLESIAS, C.C.; HERRERA, S.M.: "Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2): 57-63, 2009, ISSN: 1010-2760.
- GUTIÉRREZ, R.F.; GONZÁLEZ, H.A.; PÉREZ, L.D.D.J.; FRANCO, M.O.; MORALES, R.E.J.; SALDÍVAR, I.P.; MARTÍNEZ, R.C.G.: "Compactación inducida por el rodaje de tractores agrícolas en un Vertisol", *Terra Latinoamericana*, 30(1): 1-7, 2012, ISSN: 2395-8030.
- GYSI, M.; MAEDER, V.; WEISSKOPF, P.: "Pressure distribution underneath tires of agricultural vehicles", *Transactions of ASABE*, 44(6): 1385, 2001, ISSN: 2151-0040, DOI: <http://dx.doi.org/10.13031/2013.7001>.
- HÅKANSSON, I.: "Subsoil compaction caused by heavy vehicles—a long-term threat to soil productivity", *Soil and Tillage Research*, 29(2-3): 105-110, 1994, ISSN: 0167-1987, DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0167-1987\(94\)90046-9](http://dx.doi.org/10.1016/0167-1987(94)90046-9).
- HÅKANSSON, I.; REEDER, R.C.: "Subsoil compaction by vehicles with high axle load—extent, persistence and crop response", *Soil and Tillage Research*, 29(2): 277-304, 1994, ISSN: 0167-1987, DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0167-1987\(94\)90065-5](http://dx.doi.org/10.1016/0167-1987(94)90065-5).
- HÅKANSSON, I.; VOORHEES, W.B.; RILEY, H.: "Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes", *Soil and Tillage Research*, 11(3): 239-282, 1988, ISSN: 0167-1987, DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0167-1987\(88\)90003-7](http://dx.doi.org/10.1016/0167-1987(88)90003-7).
- HAMZA, M.A.; ANDERSON, W.K.: "Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions", *Soil and Tillage Research*, 82(2): 121-145, 2005, ISSN: 0167-1987, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2004.08.009>.
- JORAJURIA, D.; DRAGHI, L.: "Sobrecompactación del suelo agrícola parte I: influencia diferencial del peso y del número de pasadas", *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4: 445-452, 2000, ISSN: 1415-4366.
- MARLATS, R.M.; BALBUENA, R.H.; CLAVIERE, J.A.; TERMINIELLO, A.; CASADO, J.P.; MARQUINA, J.L.: "Efecto del tránsito por cosecha sobre el suelo y desarrollo de *Populus deltoides* Marsh", *Revista Bosque*, 22(1): 27-36, 2001, ISSN: 0717-9200.
- MUR, M.; HERNÁN, B.R.: "Compactación de un suelo Argiudol típico por tráfico en un sistema de producción de forrajes", *Ciencia del Suelo*, 32(1): 1-12, 2014, ISSN: 1850-2067.
- NASIRI, M.; SOLTANI, M.; MOTLAGH, A.M.: "Determination of agricultural soil compaction affected by tractor passing using 3D finite element", *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 15(3): 11-16, 2013, ISSN: 1682-1130.
- OBOUR, P.B.; SCHJØNNING, P.; PENG, Y.; MUNKHOLM, L.J.: "Subsoil compaction assessed by visual evaluation and laboratory methods", *Soil and Tillage Research*, 2016, ISSN: 0167-1987, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2016.08.015>.
- SOLARI, F.A.; DRAGHI, L.; ROSSATO, H.G.: *Comparación de dos métodos de medición de superficies improntas de rodado de tractor*, Ed. Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina, 686 p., 2000.
- VAN QUANG, P.; PER-ERIK, J.; LE VAN, K.: "Soil Penetration Resistance and Its Dependence on Soil Moisture and Age of the Raised-Beds in the Mekong Delta, Vietnam", *International Journal of Engineering Research and Development*, 4(8): 84-93, 2012, ISSN: 2278-067X.

Received: 23/01/2016.

Approved: 13/03/2017.

Idalberto Macías-Socarrás, Profesor, Universidad Estatal de la Península de Santa Elena (UPSE). Facultad de Ciencias Agrarias. Santa Elena Ecuador. Correo electrónico: imacias@upse.edu.ec

Antonio Barrera-Amat, Correo electrónico: imacias@upse.edu.ec

Benjamín Gaskin-Espinosa, Correo electrónico: hgaskine@udg.co.cu

Alain Ariel de la Rosa-Andino, Correo electrónico: arosaa@udg.co.cu

Yordanka Aguilera-Corrales, Correo electrónico: arosaa@udg.co.cu

Note: the mention of commercial equipment marks, instruments or specific materials obeys identification purposes, there is not any promotional commitment related to them, neither for the authors nor for the editor.

ecoaitoz 2017

VII ENCUENTRO ECOSISTEMAS ARROCEROS
Unidad Científico-Tecnológica de Base Los Palacios
Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas
los días 23 y 24 de noviembre de 2017

Temas a ser discutidos:
Manejo de plagas
Fertilización y nutrición de las plantas
Manejo de agua
Manejo de suelo
Manejo de nutrientes
Manejo de residuos
Manejo de energía
Manejo de información
Manejo de recursos humanos

Organizado por los Centros de Investigación, Difusión y Acción, Reducidos en las variedades de arroz:

- Manejo de plagas y protección de plantas.
- Fisiología y manejo del agua.
- Suelo, nutrientes y otros recursos relacionados.
- Problematika actual de la producción arrozera nacional.
- Estrategia y conservación de las variedades autóctonas.
- Industria, mercado, capacitación y nuevas tecnologías.

Para cualquier información comuniquen con:
Dra. Yordanka Aguilera-Corrales yordanka@upse.edu.ec
Dra. Ana María Barrera-Amat amat@upse.edu.ec
Dra. Benjamín Gaskin-Espinosa hgaskine@upse.edu.ec
Dra. Alain Ariel de la Rosa-Andino arosaa@upse.edu.ec
Dra. Yordanka Aguilera-Corrales yordanka@upse.edu.ec

INIA **UPSE**