

EVALUACIÓN DEL PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE BAJO
CONDICIONES DE INVERNADERO COMO VARIABLE PARA LA
ASIGNACIÓN DE CLONES DE *Gmelina arborea* (Roxb) A SITIOS
POTENCIALES DE PLANTACIÓN.

YESID ALEJANDRO MARIÑO MACANA

MIGUEL ALONSO RODRÍGUEZ MELO
DIRECTOR

CLAUDIA RAMÍREZ SANDOVAL
CODIRECTORA

TRABAJO DE GRADO
Presentado como requisito parcial
Para optar al título de

BIÓLOGO

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE BIOLOGÍA
Bogotá, D.C.
Febrero 20 de 2006

NOTA DE ADVERTENCIA

Artículo 23 de la Resolución N° 13 de Julio de 1946

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velará por que no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y por que las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia”.

RESUMEN

Las plantaciones clonales requieren el uso de los mejores clones para asignarlos a un sitio forestal particular. La tensión de humedad del suelo al punto de marchitez permanente es una variable que puede considerarse para tal asignación, aspecto aun más crítico cuando la especie se planta bajo las condiciones del Bosque Seco Tropical. El objetivo de este trabajo fue evaluar la reducción de la tensión de humedad del suelo desde Capacidad de Campo (CC) hasta el Punto de Marchitez Permanente (.PMP) sobre la respuesta de clones de *Gmelina arborea*, a fin de establecer si esta variable puede o no emplearse en la asignación de estos, en las diferentes unidades cartográficas – series de suelo de la zona de estudio.

El estudio se realizó en el invernadero de Monterrey Forestal Ltda. aplicando la metodología de determinación de PMP desarrollada por Silva (2002). Cada tratamiento se conformaba por la combinación de los factores clones y suelos para un total de 243 tratamientos y tres repeticiones por tratamiento. Las variables de respuesta se registraron con una frecuencia quincenal. Los resultados indican que los suelos de textura arcillosa tienen un mayor porcentaje de retención de humedad a PMP respecto a los suelos de textura franca.

El PMP es una característica propia de cada clon de *G. arborea* y de las condiciones donde se desarrolla. Para 17 clones, el PMP se expresa independientemente de las propiedades físico y químicas del suelo, mientras que en diez clones no se expresan independientemente de las propiedades físico y químicas del suelo. Las diferencias significativas en la interacción clon por unidades cartográficas – series de suelo indican que algunos clones definen la interacción y que podrían ser asignados, con base en la variable PMP, en las diferentes clases de suelo de la zona.

Las variables de respuesta porcentaje de humedad al PMP y duración desde CC hasta PMP mostraron diferencias significativas por clones, suelos e interacción.

Considerando la metodología empleada, se pudo concluir que la variable punto de marchitez permanente si puede emplearse en la asignación de clones a sitios con el fin de establecer plantaciones clonales logrando la mejor adaptación de algunos clones a las condiciones locales. No obstante *G. arborea*, al menos en las condiciones estudiadas no posee valores de PMP que superen los – 15 bares de tensión

ABSTRACT

Clonal plantations require the use of the best clones in order to assign to a particular forest site. The moisture tension of the soil to the permanent wilting point it is a variable that must be considered in order to make such assignation, aspect even more critic when the species is planted the conditions of the Tropical Dry Forest. The objective of the work was to evaluate the behavior of *Gmelina*'s seedlings clones to the reduction of the moisture tension from Field Capacity to Permanente Wilting Point could be used to assign specific clones to specific sites.

This study was made in the greenhouse of Monterrey Forestal Ltda. applying the methodology of determination of PWP developed by Silva (2002). Each treatment was composed by the combination of the factors clones and soils having 243 treatments and three replicas. All variables were registered with a biweekly frequency. The results indicate that the soil's of clay texture have a greater percentage of moisture retention to PWP with respect to soils of loam texture.

The PWP is particular characteristic of each of *G. arborea* clone and the conditions where it is developed. For 17 of 27 clones, the PWP is expressed independently of the physical and chemical properties of the soil. Ten clones shows ample variation it interacts with of soil. Significant differences in the interaction between clone and cartographic unity – serie's soils indicate that some clones determine the interaction and that they could be assigned, according with their PWP to the soil.

The moisture at PWP and the last from FC to PWP showed significant differences by clones, soils and interaction. Considering the methodology used, it was possible to be concluded that the PWP can be used in the assignation of clones to sites. Despite *G. arborea*, at least in the studied conditions do not have show PWP value of - 15 bars.

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia el establecimiento de plantaciones forestales se inició hace cerca de 60 años, sin embargo el grado de progreso tecnológico tanto en zonas tropicales como templadas apunta claramente hacia el desarrollo de la silvicultura clonal para ésta y las próximas décadas. Las plantaciones clonales de especies forestales se consideran como la silvicultura de vanguardia e implican la combinación de tecnologías de propagación vegetativa, con programas mejoramiento de genético y adecuados manejos silviculturales, los cuales permiten alcanzar mejores rendimientos de los árboles en los sitios donde se realiza la siembra.

Gmelina arborea (Roxb) 1814 originaria del Sureste Asiático, es una de las especies tropicales más sembradas en el mundo y presenta amplia distribución geográfica, principalmente en Asia, Oeste de África, Centro y Suramérica. En Colombia Monterrey Forestal Ltda. ha logrado el enraizamiento de estacas, que junto con la selección de clones por la densidad de madera, el volumen y forma de los árboles, permite ya desarrollar plantaciones clonales a gran escala.

En la zona de estudio las condiciones estrés causado por el déficit hídrico son un factor crítico para la producción forestal, por lo tanto para el establecimiento de plantaciones clonales de *G. arborea* se requiere una correcta asignación del clon para cada sitio forestal particular. Según Tyree (2002) especies tolerantes a la desecación entre las que se destacan *Callophyllum longifolium*, *Licania platypus*, *Virola surinamensis* entre otras en sitios con períodos secos prolongados, muestran una amplia variación asociada con la humedad del suelo. La tensión de humedad del suelo al punto de marchitez permanente (PMP) es una variable que puede ser considerada para ajustar la selección.

El presente trabajo estudió la respuesta de los clones de *G. arborea* ante la reducción de la tensión de humedad hasta el punto de marchitez permanente en condiciones de invernadero, a fin de establecer si esta variable puede o no emplearse en los ensayos

clon – sitio la asignación de clones a las unidades cartográficas – series de suelo de la zona de estudio. De este modo, se pretende el aporte de parámetros útiles en la selección de materiales de siembra para programas de silvicultura clonal.

2. MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia de la especie

G. arborea es una especie forestal nativa de once países de regiones tropicales y subtropicales de Asia; ha sido introducida con éxito en el este de África, Centro y Suramérica, ya que muestra características deseables para la reforestación incluyendo alta durabilidad y calidad para la producción de pulpa para papel, la elaboración de tableros de aglomerado, tableros de contrachapado así como para la fabricación de muebles, ventanas, puertas y para la manufactura de tallas. Por ser una especie caducifolia produce gran cantidad de biomasa, que al incorporarse al suelo, ayuda a su recuperación. (Lauridsen & Kjaer 2002, Dvorak 2004).

Se estiman aproximadamente 700.000 hectáreas de plantaciones de *G. arborea* en los trópicos y subtrópicos. La India (Sudeste de Asia y Región Pacífica) es la más extensa con 371.000 hct, (53%), seguidas de África con 252.000 (36%) y Latinoamérica con 71.000 (11%) respectivamente (Dvorak 2004). En contraste con estos datos, Lauridsen & Kjaer (2002) aseguran que en Latinoamérica existían 130.000 hct, sembradas de esta especie para 1990, de las cuales actualmente en Costa Rica se encuentran aproximadamente 65.000 (Moya 2004).

En Colombia las plantaciones de *G. arborea* se hallan en la Región Caribe, específicamente en los municipios de Santa Ana y Monterrubio (Magdalena), para 1995 existían 71 hectáreas (Motta 1996); en Zambrano y Córdoba (Bolívar) para el 2004 se localizan aproximadamente 5.000 hectáreas, así como 700 hectáreas en Valencia de Jesús (Cesar) (M. Rodríguez com. pers.).

2.2 Utilización de la especie

El uso más común e importante para esta especie vegetal es la obtención de celulosa para la fabricación de diferentes tipos de papel de alta calidad. Su madera es fácil de trabajar y se usa para carpintería en general, ebanistería, paneles, muebles, cajas,

instrumentos musicales, remos y vagones de tren entre otros (Motta 1996, Moya 2004, Sánchez & Romero 2004) Como fuente de pulpa para papel la madera de esta especie tiene un alto contenido de celulosa (40 – 47%) y holocelulosa (61.5 – 1.7%). Además, contiene más extractivos de alcohol benceno soluble que la mayoría de las latifoliadas tropicales (2.9 - 5.7%) (Motta 1996).

Las drupas, hojas, flores, raíces y corteza son usadas en la medicina tradicional. Las drupas son usadas como ingrediente de decocciones refrigerantes para fiebres y afecciones biliares. Una pasta hecha con las hojas es aplicada en la cabeza para calmar las fiebres (Greaves 1981).

2.3 Clasificación taxonómica

Reino: Vegetal

División: Angiospermophyta

Clase: Magnoliopsidae

Subclase: Asteridae

Orden: Labiales

Familia: Verbenaceae

Generó: *Gmelina* Linn.

Especie: *Gmelina arborea* (Roxb) 1814

Nombre común: Melina, yemane, gumhar y gamhar (Greaves 1981, Cronquist 2005).

2.4 Descripción Botánica

G. arborea es un árbol que alcanza de 20 a 40 metros de altura, diámetro máximo de 60 a 140 centímetros; en forma aislada tiene copa amplia. Su fuste es corto, cónico, de corteza externa lisa, gris blanquecina y corteza interna amarillenta. (Motta 1996,

Espinosa 2003). Las ramas son numerosas, extensas, gruesas y bajas. Las hojas son simples opuestas, ovadas, regularmente cordadas en la base de 10 - 25 cm, de largo y 5 - 18 cm, de ancho, haz glabro y envés con pubescencia estrellada de 3 a 5 nervios en la base, 4 a 6 pares de nervios secundarios arriba de la base, 2 a 4 glándulas brillantes en la base de la hoja donde se une con el pecíolo de 7.5 a 13 cm, (Greaves 1981, Motta 1996).

Las flores aproximadamente de 2.5 cm, se presentan en panículas terminales a veces de 30 cm de largo (Kijkar 2003). La corola de 2 a 5 cm, café amarillosa con el labio superior bífido más grande que el de abajo, el cáliz es gamosépalo, el estilo es largo con un estambre y las anteras bífidas, el ovario es redondo, pluricarpelar y de placentación axilar (Greaves 1981). El fruto es una drupa verde oblonga, carnosa de 2 a 3 cm, de largo, cuando madura es amarilla, su pericarpo es brillante. El endocarpo tiene de 1.5 a 2 cm, de largo, usualmente tiene 2 celdas y 2 semillas, pero a veces 1 o 3 con semillas y raramente 4 o 5 celdas con sus semillas (Greaves 1981, Kijkar 2003).

2.5 Biología de la reproducción

Las flores empiezan a aparecer cuando el árbol tiene de seis a ocho años de edad, adicionalmente los botones florales aparecen cuando al árbol se le caen las hojas, es decir de enero a marzo. Algunos árboles tienen flores y frutos durante todo el año. Es una especie monoica imperfecta o hermafrodita (Kijkar 2003)

2.6 Distribución geográfica

La especie se encuentra naturalmente en latitudes Norte 5° a 30° y longitudes de Este 70° a 110° E, es originaria de la India y se distribuye en forma natural en una vasta región geográfica, desde el nordeste de Pakistán hasta el sudeste en Camboya, Vietnam, y el sur de China (Rachmawati & Hansen 2002). En África se cultiva en Costa de Marfil, Gambia, Ghana y Nigeria. En América, existen plantaciones en Brasil (Sao Miguel, Pará), Costa Rica (Provincias de Puntarenas, Guanacaste, San

José y Alajuela), México (Campeche) y Venezuela (Estados de Barinas y Bolívar) (Lauridsen & Kjaer 2002, Espinosa 2003, Sánchez & Romero 2004).

En Colombia esta siendo plantada comercialmente, por su buena forma y rápido crecimiento; según Motta (1996) en 1995 se reportaban plantaciones en Córdoba y Zambrano (Bolívar), Monterrubio y Santa Ana (Magdalena). Adicionalmente se encuentran siembras y/o plantaciones en los Departamentos de Atlántico (Luruaco), Bolívar (El Carmen de Bolívar), Cesar (Becerril, Codazzi y Valledupar), Magdalena (El Difícil de Ariguani, Fundación, Plato y San Ángel) y Valle del Cauca (Yumbo) (H. Urueña, com. pers.).

2.7 Requerimientos Ambientales

2.7.1 Clima

Su rango altitudinal va de 0 a 1500 m.s.n.m., en el área de distribución natural, esta especie prospera en temperaturas mínimas absolutas de 1 - 16 °C, y máximas de 38 - 48 °C. En Centro y Suramérica se planta con éxito en sitios con temperaturas entre 24 - 29°C. Naturalmente, crece en áreas con precipitación media anual de 750 a 2000 milímetros, también puede desarrollarse en sitios hasta con 4500 mm,. Requiere un periodo seco de dos a ocho meses (Motta 1996)

2.7.2 Relieve y suelos

La posición topográfica del terreno define en gran medida la calidad de sitio de *G. arborea*, siendo las mejores pendientes inferiores o fondos planos, donde por lo general hay mayor disponibilidad de agua y nutrientes (Vásquez & Ugalde 1996). *G. arborea* crece bien en suelos profundos, francos, franco arcillosos, húmedos y bien aireados, con buen contenido de nutrientes, alcalinos o ligeramente ácidos con un pH entre cinco y ocho (Motta 1996, Espinoza 2003). Puede crecer en suelos ácidos o calcáreos hasta lateritas, aunque su crecimiento se ve afectado en suelos superficiales con capas endurecidas, impermeables, pedregosas, o en suelos ácidos muy lixiviados

o arenas secas. Así mismo, en zonas de fuertes vientos, la especie limita su desarrollo y presenta gran cantidad de ramas quebradas (Motta 1996).

Plantaciones de la especie en Brasil han registrado demandas anuales de nutrientes por hectárea de 21 Kg, de Nitrógeno, 4 de Fósforo, 15.5 de Potasio, 7 de Calcio y 6.5 de Magnesio. En países de Centroamérica (Costa Rica, El Salvador Guatemala, Honduras y Nicaragua) se cultiva en suelos de los órdenes alfisol, entisol, inceptisol y en algunos sitios con suelos vertisoles el crecimiento es menor (Motta 1996).

Ensayos realizados por Refocosta (Monterubio, Magdalena) a los diez años muestran un incremento en el volumen de 238% en suelos arcillosos de buena calidad con respecto a suelos arenosos (Sourdis 1990).

2.8 Propagación

2.8.1 Propagación por semilla

Los frutos maduros son colectados del suelo, transportados en sacos de tela o malla hacia el sitio de trabajo, despulpados y los endocarpos secados hasta llevarlos entre un 9 – 11% de humedad para su almacenamiento. La semilla se siembra al voleo o en hileras, cubriéndola ligeramente con tierra o cascarilla de arroz. Bajo condiciones favorables de riego las semillas de *G. arborea* empiezan a germinar entre los siete a quince días después de la siembra (Motta 1996). La germinación es epígea, cuando el primer par de hojas estén bien desarrolladas, las plántulas se transplantan a bancales o eras de crecimiento (Greaves 1981, Motta 1996).

2.8.2 Propagación Vegetativa

La reproducción asexual es la propagación de una planta a partir de partes vegetativas de esta, esto es posible debido al principio de totipotencia celular, la cual es una capacidad propia de las células somáticas de los tejidos de una planta (Hartmann *et*

al. 1997) El ciclo de crecimiento de una planta propagada por clonación presenta únicamente dos fases: vegetativa y reproductiva. Algunos meristemos permanecen vegetativos y continúan generando ramas, las cuales son utilizadas para propagar nuevas plantas; otros maduran y responden a estímulos para florecer (reproductivos) (Hartmann *et al.* 1997, McMahon *et al.* 2002).

G. arborea es una especie que fácilmente puede ser propagada vegetativamente a partir de partes de tallo, estacas, injertos y formación de raíces adventicias entre otros (Romero 2004). De acuerdo con Valverde *et al.* (2004) en Costa Rica se evaluaron segmentos nodales de plántulas *in Vitro* de *G. arborea* en medios de cultivo MS con diferentes concentraciones de benciladenina (BA), posteriormente los brotes se separaron y se colocaron en otro medio de cultivo MS pero esta vez a diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB) encontrándose diferencias significativas en la tasa de inducción de brotes para familias y genotipos.

Ensayos realizados en Monterrey Forestal Ltda. se centraron en determinar que sección de la planta presentaba el mejor enraizamiento y los primeros resultados de esta investigación indicaban que la yema terminal del rebrote tenía un 85% de enraizamiento contra un 20% de otras secciones, además la aplicación de AIB a 5.000 ppm, aumenta el enraizamiento de yemas terminales en un 20% (Urueña 2004).

Así pues, la propagación vegetativa de la especie, a partir de rebrotes que genera el tocón y un ambiente idóneo para el enraizamiento de las estacas se realiza, teniendo en cuenta tres factores a) una reducción en la actividad fotosintética, b) una humedad relativa alta (>80 - 90%) y buen manejo del estrés hídrico y c) una temperatura ambiente entre 30 - 35 °C. (A. Vallejo com pers., Urueña 2004).

2.8.2.1 Competencia y Determinación Celular

La base técnica de la propagación clonal de árboles es el enraizamiento adventicio, el éxito en su implementación se traduce en la explotación del alto potencial genético de los recursos maderables. Existe un determinado número de factores que logran

inducir respuestas en los diferentes niveles de organización celular vegetal, dichas respuestas están relacionadas con competencia y determinación celular (Mohnen 1994, Hartmann *et al.* 1997).

En plantas, la competencia se define como un estado celular de reacción a un estímulo específico. En el proceso de formación de raíces adventicias la competencia se considera como la habilidad de las células de un determinado tejido para responder a un estímulo dado, en donde el efecto se evalúa durante la emergencia de raíces (Mohnen 1994, Altamura 1996).

El término determinación se define como el compromiso de las células para cumplir un destino o desarrollo específico, es decir una célula o un tejido recibe una señal para la formación de raíces, ésta (e) permanece determinada(o) o comprometida(o) para la formación de un órgano, incluso si se remueve o bloquea la señal inductora (Mohnen 1994, Hartmann *et al.* 1997).

El periodo de determinación de los explantes para la formación de raíces es largo, usualmente de días y es suficiente para permitir que ocurra la división celular; es dependiente del inductor, de la composición celular, de la edad del explante y del fenotipo y genotipo. Con frecuencia las primeras raíces crecen a través del callo, conduciendo al concepto que la formación del callo es esencial para el enraizamiento (Mohnen 1994, Hartmann *et al.* 1997, McMahon *et al.* 2002).

2.8.2.2 Enraizamiento adventicio

La palabra adventicio se origina de la palabra latina *adventitius* que significa agregado. La denominación raíz adventicia se usa para designar raíces que de alguna forma, emergen de ejes radiculares lateralizados o de partes de la planta que no son precisamente raíces (hojas, yemas, tallos) (Barlow 1994, Mohnen 1994, Altamura 1996, Hartmann *et al.* 1997, McMahon *et al.* 2002).

Existen dos tipos de raíces adventicias: las preformadas y las originadas en heridas. Las primeras se originan en forma natural en tallos o yemas que aún están unidos a la planta madre y las segundas se desarrollan sólo después de hacer un corte, como repuesta al efecto de la lesión, al reparar la misma (Barlow 1994, Hartmann *et al.* 1997).

Durante este proceso se observan fases que incluyen: a) Desdiferenciación de células específicas maduras, donde se obtiene la competencia y se forman meristemoides radicales o agregados celulares caracterizados por presentar células pequeñas, con núcleos cromófilos, nucleolo y sin almidón b) Formación de primordios de raíz o determinación celular a partir de los meristemoides c) Desarrollo de las raíces iniciales en primordios organizados y d) Crecimiento y emergencia de los primordios a través del tejido del tallo (Hartmann *et al.* 1997).

2.9 Silvicultura clonal

Al observar los desarrollos en silvicultura clonal alcanzados por la cadena forestal del país con respecto al contexto mundial, se observan diferencias significativas, especialmente por la trayectoria llevada a cabo por algunos países desarrollados. Por ejemplo, en China especies forestales como el Abeto chino (*Cunninghamia lanceolata*), vienen siendo propagadas utilizando la misma técnica de propagación vegetativa desde hace 1000 años, al igual que silvicultores japoneses quienes enraízan estacas de Sugi (*Cryptomeria japonica*) de la misma manera tradicional utilizada desde hace 500 años (Davies & Haissing 1994).

En Colombia, la silvicultura clonal se ha desarrollado atomizadamente, de manera que no ha sido aprovechada por la cadena forestal. Las nuevas tendencias de la silvicultura apuntan claramente hacia la producción clonal. Las plantaciones clonales se consideran hoy día como la silvicultura de vanguardia. Implica la combinación de las tecnologías de propagación vegetativa, con el mejoramiento genético y el manejo

silvicultural de este nuevo tipo de plantaciones (Murillo *et al.* 2001, Lauridsen & Kjaer 2002, Murillo *et al.* 2003).

La plantación se establece en forma de mosaico de bloques monoclonales, con un comportamiento prácticamente idéntico en crecimiento y calidad y se puede diseñar un manejo de la densidad inicial orientado exclusivamente a elevar la calidad del fuste y facilitar labores de aprovechamiento. Por razones de riesgo de una excesiva reducción de la variabilidad genética, se ha instaurado como norma internacional el uso mínimo de 15 clones y bloques monoclonales no mayores a 20 hect, en cualquier programa clonal comercial, además con el uso de clones es posible diseñar plantaciones diferentes según sea el producto forestal a obtener (Murillo 2004).

2.9.1 Mejoramiento genético de la especie

El mejoramiento genético forestal tiene como objetivos maximizar ciertas características como a) la adaptabilidad de una especie al sitio potencial de plantación b) la tasa de crecimiento uniforme c) la resistencia a enfermedades y d) la calidad del producto final (Lauridsen & Kjaer 2002, Dvorak 2004).

De acuerdo con Lauridsen & Kjaer (2002) diferentes programas de mejoramiento genético de *G. arborea* han sido iniciados en muchos países, las publicaciones más importantes de cada país son: India (review de Tewari 1995), Bangladesh (Jones & Das 1981), Nigeria (Oduwaiye 1983, Akachuku 1984), Brasil (Woessner 1980), Islas Solomon (Chaplin *et al.* 1988, Sandiford 1990), Colombia (Konig & Venegas Tovar 1981), Malasia (Afzal & Muhammad 1987, Ibrahim & Ong 1982, Sim Boon Liang & Jones 1984, and Wong & Jones 1986) y Costa Rica (Murillo 1992, Hamilton *et al.* 1998, Mesén & Nunez 1999).

La experiencia en conjunto es que *G. arborea* es fácil de reproducir debido al rápido crecimiento y floración temprana (cortas generaciones de reproducción) y buena respuesta a la selección (gran variación fenotípica combinada con alta heredabilidad para características importantes) (Lauridsen & Kjaer 2002).

En Costa Rica, la compañía Ston Forestal desarrolló su programa de mejoramiento genético con *G. arborea* y se convirtió en la pionera en este campo a mediados de los años 90 (Zeaser 1996). En Colombia se han realizado ensayos con semilla de diferentes procedencias de la especie en el Valle del Cauca, Tumaco (Nariño), Parque los Katios (Chocó), Carare- Opón (Santander) y La Gloria (Atlántico). En la Costa Atlántica, después de un año se reportaron alturas entre los 2.5 - 4.9 m, lo que confirma la adaptabilidad de la especie a climas secos (Motta 1996, Osorio 2004)

El programa de mejoramiento genético para *G. arborea* en Monterrey Forestal Ltda. cuenta con: Rodal semillero de 20 hectáreas de extensión, huerto semillero clonal de primera generación (55 clones), banco clonal (61 clones de 23 procedencias de África), ensayos de progenie/procedencia (107 familias de Tailandia y 150 de plantaciones de Monterrey, 39 familias de tres procedencias de Tailandia y trece procedencias de Myanmar), un huerto semillero clonal de segunda generación y un jardín de estacas con 210 clones (Rodríguez 2004).

El trabajo desarrollado se ha dirigido a establecer un sistema altamente productivo de madera y a lograr la mejor adaptación de la especie a las condiciones locales, produciendo razas locales, a través de la construcción de una amplia base genética, su selección y su posterior acoplamiento en genomas de alta expresividad (Rodríguez 1998).

De la amplia base genética, el programa de mejoramiento se inicia con la selección de los primeros árboles en plantaciones con edades alrededor de los siete años; Los árboles seleccionados fenotípicamente eran superiores a los mejores cinco vecinos en un radio de 15 - 20 m, a la redonda. Los árboles elegidos eran superiores a sus vecinos en altura total, rectitud de fuste, ángulo de ramas, sanidad, grosor de ramas, fibra recta, volumen, entre otros criterios (Urueña 2004).

Además, se utilizan técnicas de propagación por estaca con el objetivo de producir madera de la más alta calidad y productividad posible. Con el fin de optimizar la

producción clonal masiva se han desarrollado nuevas técnicas y mejorando las existentes por lo que se cuenta con un jardín de estacas conformado por 33 clones, con una densidad de plantación de tres rametos por metro cuadrado del cual se realizan cosechas mensuales (Urueña 2004).

2.9.2 Factores del sitio

Para obtener plantaciones forestales de calidad se requiere no solo la combinación correcta de la especie con el sitio de plantación, si no también el uso del germoplasma de la mejor calidad posible y por ende practicas silviculturales adecuadas. La productividad de un sitio tiene limitaciones por varias razones, esto es conocido como la ley de factores limitantes. Para seleccionar las especies o los individuos de una especie más adecuados para un sitio, se requiere del establecimiento de ensayos en campo, de eliminación y comprobación, que permitan identificar las condiciones del sitio (Vásquez & Ugalde 1996).

El rendimiento de una plantación depende en gran parte de la capacidad productiva del sitio seleccionado, de la preparación y el manejo que se le da al mismo (Espinoza 2004). La compactación del suelo y el estrés hídrico son factores a tener en cuenta al planear la cosecha ya que afectan el crecimiento de la especie (Ogbonnaya *et al.* 1992, Ladrach 2004). En condiciones de bosque muy húmedo premontano o en suelos muy erosionados o compactados, de topografías quebradas y muy superficiales, la plantación puede mostrar algunas características indeseables como fustes torcidos, de poca altura, muy ramificados y con aspecto arbustivo (Murillo & Valerio 1991).

2.10 Plagas y enfermedades

En las áreas en donde *G. arborea* es nativa, se han reportado gran cantidad de plagas de insectos y de patógenos. Algunos hongos patógenos se han introducido dentro de las áreas en donde los árboles han sido establecidos como especies exóticas. Entre estos, las manchas de las hojas ocasionadas por el hongo *Pseudocercospora ranjita*,

aunque no ha causado ningún daño sustancial. La enfermedad de marchitamiento vascular causada por *Ceratocystis fimbriata* en el Brasil, ha ocasionado la pérdida más seria en las plantaciones de la especie. En las plantaciones dentro del rango natural del árbol, los insectos han causado un daño considerable. Entre estos insectos, el defoliador más importante es *Calopepla leayana* (Chrysomelidae). Sin embargo, en las áreas en donde *G. arborea* crece como una especie exótica no se han reportado problemas con las plagas de insectos (Wingfield & Robison 2004).

2.11 Geología y Geomorfología

La zona de estudio comprende dos grandes paisajes: El formado por la Serranía de San Jacinto y Colinas adyacentes y el de las planicies aluviales tanto del río Magdalena como de sus afluentes. La Serranía de San Jacinto comprende formaciones geológicas del cretáceo superior y del terciario que se manifiestan como un cordón montañoso con clara dirección suroeste – noreste (Hurtado *et al.* 1975).

2.11.1 Zona de Colinas

Dentro del gran paisaje de colinas se destacan por su mayor altura aquellas formadas en materiales de limolitas, cherts y concreciones calcáreas o de grauacas, lutitas y areniscas de edad cretácica, caracterizadas por su forma lineal, pendientes fuertes, cortas y rectilíneas que corresponden a los buzamientos de estratos de los diversos materiales. Presentan un contacto abrupto con colinas adyacentes y con valles entre colinas (Hurtado *et al.* 1975).

Hay otra unidad de colina formada por aquellos materiales del eoceno medio a superior consistente en lutitas, calizas arrecífales en estratos muy inclinados a casi verticales. Presentan una disección densa formada por arroyos que bajan perpendiculares a los estratos, cortan los cordones de colinas y aportan gran cantidad de sedimentos finos a los valles. La unidad de colinas bajas se encuentra hacia el occidente de Zambrano y Córdoba. Comprenden areniscas calcáreas, calizas y lutitas. Su relieve es ondulado a fuertemente ondulado y quebrado y son susceptibles a

erosión en cárcavas, especialmente por socavamiento de las areniscas (Hurtado *et al.* 1975).

2.11.2 Zona plana

Los depósitos cuaternarios recientes y antiguos del río Magdalena y de sus afluentes forman el gran paisaje de la zona plana. Está representada por varios niveles de terrazas y zonas de influencia actual como orillares, diques bajos y cauces abandonados. Hay en ellos acción renovada por inundaciones periódicas. Sus materiales están constituidos primordialmente por limos, arcillas y arenas cuarzosas de grano fino y medio en matriz arcillosa. En algunas partes se encuentran también capas de gravas y fragmentos de areniscas que probablemente indican crecientes esporádicas en el pasado (Hurtado *et al.* 1975).

Con base en el estudio de Malagón *et al* (1975) que incluye un mapa de suelos a escala 1:100 000 y con la ayuda de un mapa de pendientes escala 1:25.000 elaborado por INFOMAP se lograron generar 12 unidades cartográficas (Tabla 1) con su respectiva leyenda geomorfológica para las 16.000 hectáreas de la Hacienda Monterrey Forestal Ltda.

2.12 Suelos

El Estudio que sirvió de base para extractar la información correspondiente a las unidades taxonómicas de las categorías bajas y sus propiedades fue el que realizó la empresa Monterrey Forestal Ltda. (1983).

2.12.1 Taxonomía de suelos

El sistema taxonómico norteamericano es multicategorico; en él los diferentes niveles de organización conforman su estructura básica. En la estructura general del sistema se destacan seis categorías: Orden, Sub Orden, Gran grupo, Sub grupo (categorías altas), Familia y Serie (categorías bajas). Cada una de ellas corresponde a diferentes

niveles de abstracción; es decir, varían en cuanto a su homogeneidad, significado e información contenida, ya que cada nivel corresponde a criterios definidos de clasificación (IGAC 1995, Singer & Munns 1999).

Tabla 1. Unidades cartográficas con su leyenda geomorfológica de la Hacienda Monterrey Forestal Ltda.

Paisaje	Tipo de Relieve	Forma del Terreno	Pendiente	Unidades Cartográficas
Planicie aluvial	Plano de inundación de río meándrico	Cubeta de desborde	plana 0-3%	VPCa
		Albardones mayores	ligeramente inclinado 3-7%	VPAb
			plana 0-3%	VPAa
		Albardones de difluente	plana 0-3%	VPDa
		Complejo de orillares	plana 0-3%	VPOa
	Terrazas	Napa	plana 0-3%	VTNa
		Cubeta	plana 0-3%	VTCa
		Planos superiores	fuertemente inclinado 7-12%	VTPc
Lomerío	Lomas y colinas en arcillolitas	laderas	moderadamente ondulada 12-25%	LLLd
			fuertemente inclinada 7-12%	LLLc
		Glacís de acumulación	ligeramente inclinado 3-7%	LGLb
	Vallecito	Vega	Plana 0-3%	LVV

Aunque en el departamento de Bolívar afloran rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas cuyas edades van del precámbrico al terciario, la mayor parte esta ubicada por rocas sedimentarias que fueron depositadas en ambientes continental y marino y posteriormente cubiertas en una extensión considerable por sedimentos del cuaternario (IGAC 1998). El origen, composición y distribución del material parental es muy variado ya que se encuentran rocas ígneas (riolitas, granodioritas y cuarzo

dioritas), metamórficas (esquistos y anfibolitas) y sedimentarias (areniscas, arcillositas y calizas) (IGAC 1998).

Las áreas dominadas por arcillolitas, se originan suelos en donde el contenido de arcilla, da las características más importantes a la génesis del perfil, como sucede en el orden vertisol. En donde hay materiales ricos en carbonatos, la pedogénesis esta determinada por al acción de procesos, en donde los cationes divalentes tienen gran influencia en el desarrollo de los suelos, como ocurre en el orden molisol (Hurtado *et al.* 1975).

2.12.2 Series de Suelo

La serie de suelo es la categoría más homogénea del sistema norteamericano de taxonomía de suelos, donde se realizan distinciones basadas en clima, acidez, mineralogía, textura, estructura, profundidad, contenido de materia orgánica y otras propiedades del suelo y su ambiente (Soil survey staff 2005). En la Tablas 2 y 2a se presentan características del paisaje, relieve y la taxonomía de 16 series de suelo mapeadas en una extensión de 5.145 hectáreas, de las 16.000 donde existen plantaciones o bosque natural. (Monterrey Forestal 1983).

2.12.3 Granulometría y Textura

La granulometría hace referencia a la distribución de las partículas (arena, limo y arcilla) y a las fracciones de arena fina, gruesa etc. La primera división en el tamaño de las partículas es hecha a los 2 mm, de diámetro aparente, los elementos gruesos (mayores de 2 mm,) y la fracción de tierra fina (menor a 2 mm,). La fracción de tierra fina controla muchas propiedades de los suelos por tener mayor área superficial y propiedades químicas y biológicas activas (Porta *et al.* 1999, Singer & Munns 1999). La fracción de tierra fina a sido dividida de acuerdo a su diámetro por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos: Arena (0.05 - 2 mm,) limo (0.002 - 0.05 mm,) y arcilla (menos de 0.002 mm,). Las propiedades minerales cambian según decrece el tamaño entre 0.001 a 0.005 mm, (Singer & Munns 1999).

Tabla 2. Características del paisaje, relieve y la taxonomía de 16 series de suelo de la zona de estudio.

Paisaje	Tipos de Relieve	Subgrupo y Familia	Serie	Unidades	
Planicie	Planicie de inundación	Udorentic Pellustert, Muy fina, montmorillonita, isohipertérmica	Lorica	L - fp	
		Udic Chromustert, Fina, montmorillonita, isohipertérmica	Casablanca	C - fp	
Aluvial	Planicie de inundación y terraza	Aquic Haplustalf, Muy fina, mezclada, isohipertérmica	Plato	C - rt	
				P - fp	
Colinas	Terraza drenajes y	Entic Chromustert, Muy fina, montmorillonita, isohipertérmica	Bolívar	B - dn	
				B - rt	
	Los tres tipos de relieve anteriores	Typic Haplustoll, Franca, fina, mezclada, isohipertérmica	Golfo	G - dn	
				G - rt	
	Tierra Alta	Entic Chomudert, Muy fina, montmorillonita, isohipertérmica	Nechi	N - nd	
				N - fp	
		Udic Argiustoll, Grueso o franca, fina, mezclada, isohipertérmica	El Carmen	N - vt	
				E - dn	
	Tierra Alta	Aridic Haplustalf Franca, fina, mezclada, isohipertérmica	Jurado	E - fp	
				E - rt	
				Er - rt	
	Tierra Alta y Laderas	Entic Chromustert Fina, montmorillonita, isohipertérmica	Aurora	J - up	
				J - upm	
				Je - up	
			Aridic Haplustalf Franca - esquelética, mezclada, isohipertérmica	Honda	A - up
					A - hs/s
Ae - up/m					
Aridic Haplustalf, Franca, fina, esquelética, mezclada, isohipertérmica		Dabeiba	H - up		
			H - up/s		
			H/D- upts		
			H/D- hi/s		
			Typic Haplustalf, Franca, fina, mezclada, isohipertérmica	Indio	D - up
					D - up/s
Aridic Haplustalf, Muy fina, mezclada, isohipertérmica	Ocana	I - up			
		I - hs			
		I - ts			
Vertic Haplustalf, Fina, montmorillonita, isohipertérmica	Raicero	O - up			
		O - up/m			
		O - hs			
Typic Haplustalf, Fina, mezclada, isohipertérmica	Medina	R - up			
		R - hs/s			
		Re - up/m			
Tierra Alta Ladera y Pie de Ladera		M - up			
		M - hs			
		M - ts			

Tabla 2a. Convenciones de las unidades de las series de suelo de la zona de estudio.

Fases	Formas de la Tierra
d - profunda	dn - drain
e - erodada	fp - foodplain (0 - 2% pendiente)
p - gravas y piedras en superficie	hs - hill side slope (15 - 35% de pendiente)
r - gravas y piedras en el subsuelo	rt - river terrace (0.2% de pendiente)
	ts - toe slope (2 - 15% de pendiente)
	up - upland (0 - 15% de pendiente)
	lm - pendiente moderada (15 - 35%)

La textura es la clasificación de estas partículas de acuerdo con su tamaño. Asimismo, una clase y familia textural en los horizontes del perfil es una característica pedogenéticamente heredada e inmodificable. El triángulo textural del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos fue diseñado para que la combinación de los porcentajes de arena, limo o arcilla formaran determinada clase textural. (Singer & Munns 1999).

Según Urrego (2004) la variación en volumen y altura de los árboles de *G. arborea* para seis sitios en el Valle del Cauca es el resultado de diferencias en dos factores; la textura del suelo (una medida indirecta de la capacidad de almacenamiento de agua de los mismos) y del drenaje natural. Los sitios más productivos fueron aquellos ubicados en suelos bien drenados, con texturas arcillosas o franco arcillosas y que recibieron un promedio anual de lluvias entre 1.000 y 1.300 mm,. El sitio menos productivo tiene suelos arcillosos, mal drenados y recibe más de 2.000 mm, por año de precipitación promedio.

En forma general los suelos tanto de la región quebrada como la plana presentan toda gama de texturas. Por los materiales dominantes se originan suelos de texturas fina y moderadamente fina, mientras que los suelos arenosos y arenoso franco son menos comunes, estos aparecen en la parte de colinas y en los complejos orillales de la zona plana (IGAC 1998).

En las zonas donde actualmente hay plantaciones de *G. arborea*, *Pachira quinata* y *Sterculia apetala* la textura presenta mayor variación, encontrando clases texturales tales como: Franco arcillosa, arcillosa, franco arenosa, franca, franco areno arcillosa y franco limosa (Monterrey Forestal 1983).

2.12.4 Estructura

La estructura es la combinación o el arreglo de las partículas primarias del suelo en partículas secundarias o peds. Estas partículas secundarias se caracterizan y se clasifican con base a su tamaño, forma y grado de desarrollo. La estructura del suelo cabe describirse como débil, moderada o gruesa, según las diferencias existentes entre los peds. Así mismo se las conoce como fina media o gruesa, de acuerdo al tamaño de los peds. La forma de los peds determina cuando la estructura es columnar, laminar, blocosa o granular (Palmer & Troeh 1989). Propiedades tales como aireación, la infiltración de agua y la transferencia de calor influyen por la estructura del suelo y en el crecimiento de las plantas (IGAC 1998, Porta *et al.* 1999).

Tanto en los municipios cercanos a la zona de estudio como en Monterrey Forestal Ltda., para texturas de la clase marginal arcilla se observan en su mayoría estructuras en bloques subangulares en toda la longitud de los perfiles y en menor grado estructuras granulares, con características firmes, adhesivas y muy plásticas, mientras que en los horizontes C, especialmente en zona de colinas no se presenta estructura (Monterrey forestal 1983, IGAC 1998).

2.12.5 Componentes inorgánicos del suelo

La totalidad de los constituyentes sólidos inorgánicos del suelo son fragmentos minerales y sus productos de alteración. Se da el nombre de mineral a todo cuerpo o sustancia producida por procesos inorgánicos que presenta un carácter homogéneo y que forma parte de la corteza terrestre. Tienen propiedades como cristalización y composición química definida, entre otras. Aunque se conocen un gran número de

minerales tan sólo unos pocos de ellos constituyen las rocas que intervienen en la formación de los suelos (Dorronsoro 2005).

Los minerales formadores del suelo se dividen en dos grupos: los primarios y los secundarios. Entre los minerales primarios se encuentran el cuarzo, carbonatos, la apatita y los minerales silicatados, estos últimos constituyen los minerales más importantes de las rocas madres y además los principales constituyentes de arena, limo y arcilla. Están constituidos básicamente por estructuras de tetraedros de Silicio y octaedros de aluminio dispuestos en láminas con enlaces covalentes de alta energía, que pueden ser reemplazados por cationes de menor carga a lo que se conoce como sustitución isomorfica (Taiz & Zeiger 2002, Singer & Munns 1999). Entre tanto, los minerales secundarios con mayor estabilidad frente a la meteorización y menor tamaño de partícula, adquieren partículas coloidales; estos minerales junto con la materia orgánica, constituyen la fracción más activa del suelo. Se clasifican en: Minerales no silicatados secundarios, entre los cuales están la calcita, gibsita hematina y limonita y Minerales arcillosos silicatados. (Klein & Hurlbut 1993)

La composición mineralógica de las arenas para la región indica la presencia común de cuarzo, feldespato potásico así como la de granos alterados, además de la presencia de epidota, moscovita, anfíboles y piroxenos (IGAC 1998). Por otro lado, los minerales en la fracción arcilla son coloidales (< 0.002 mm.), de gran plasticidad y al ser de forma laminar exponen gran extensión de superficie por unidad de peso. De acuerdo a su disposición laminar dan lugar a diferentes arcillas cristalinas, entre las que se destacan las bilaminares (caolinita), trilaminares no expandentes (illita), trilaminares expandentes (montmorillonita y vermiculita) y tetralaminares (clorita) (Taiz & Zeiger 2002, Dorronsoro 2005). Estas estructuras laminares presentan combinaciones variadas, constituyendo cada una de ellas un paquete. La sucesión de 10 a 20 paquetes forman un cristal de arcilla (Dorronsoro 2005).

En los suelos de montaña, pie de monte y planicie donde hay rocas sedimentarias el mineral que predomina para la fracción arcilla es la montmorillonita, seguido de

vermiculita, el primero, característico del orden vertisol, cuya propiedad más destacable es la capacidad de expansión y retracción producida por el humedecimiento y secado. Las micas (illitas) y la caolinita se encuentran en porcentajes más bajos (IGAC 1998, Singer & Munns 1999).

Cationes minerales tales como Amonio (NH_4^+) y Potasio (K^+) absorben cargas negativas de la superficie de partículas orgánicas e inorgánicas y proveen nutrientes disponibles para las raíces. El grado en que el suelo pueda adsorber e intercambiar iones es un término denominado capacidad de intercambio catiónico y es altamente dependiente del tipo de suelo (Taiz & Zeiger 2002). Las elevadas capacidades de intercambio obtenidas para los suelos de esta región indican una alta capacidad de almacenamiento de nutrientes para las plantas, en particular, los suelos donde hay presencia de montmorillonita y vermiculita la capacidad de intercambio catiónico oscila entre 16.9 - 54.2 me/100 g, (Hurtado *et al.*1975).

2.12.6 Componentes orgánicos del suelo

La materia orgánica y su producto coloidal de síntesis biológica (humus) constituyen la parte orgánica del suelo (IGAC 1995). Todas las sustancias orgánicas del suelo incluyendo raíces, residuos de plantas y animales, bacterias hongos y otros microorganismos son parte de la materia orgánica del suelo (Montenegro & Malagón 1990). La materia orgánica es de gran importancia por su influencia en la estructura del suelo, en la capacidad de retención de agua y nutrientes y en los efectos bioquímicos de sus moléculas sobre los vegetales (Ellerbrock 2005).

Por humificación se entiende el proceso de descomposición parcial de sustancias orgánicas y la síntesis de algunos compuestos que son específicos del humus. Durante la humificación algunos compuestos son oxidados, perdidos y otros tantos lixiviados.

El análisis de un humus típico revela la composición determinada en la Tabla 3 y 4.

Tabla 3. Composición de un material de humus típico.

Material	Composición (%)
Compuestos lignicos	45
Aminoácidos	35
Carbohidratos	
Celulosa	4
Hemicelulosa	7
Grasas, ceras y resinas	3
Otros	6

Tabla 4. Composición elemental de un material húmico.

Elemento	% en peso
C	52 – 60
O	32 – 38
H	3 – 4
P	0.4 – 0.6
N	4 – 5

Debido a las condiciones climáticas que prevalecen en la región de estudio (bajas precipitaciones y altas temperaturas), y a la degradación de algunos suelos de la región caribe se presenta un bajo contenido de materia orgánica (Peña *et al.* 2004), pues la cantidad de material vegetal descompuesto anualmente en la superficie o dentro del suelo es pequeño, mientras que en zona de colinas los horizontes superficiales presentan niveles elevados de materia orgánica, lo que puede atribuirse a una mayor precipitación en el transcurso del año (Hurtado *et al.* 1975).

Entre las fuentes de sustrato para el crecimiento de los microorganismos (bacterias, actinomicetes, algas y protozoarios) están los residuos de cosecha y hojarasca, los exudados de la raíz y la materia orgánica del suelo. Estos microorganismos degradan

los restos orgánicos incorporando los elementos y moléculas a ellos mismos. El ciclo continua hasta que se da una mineralización debido a la segmentación y degradación de las moléculas orgánicas (Burbano 1989). Entre los organismos benéficos están las bacterias promotoras del crecimiento vegetal, bacterias fijadoras de nitrógeno, los actinomycetes que actúan como antagonistas de patógenos del suelo y que pueden ser empleados para control biológico. De otra parte, se ha comprobado que los hongos de micorriza arbuscular median la protección de plantas contra posibles patógenos y desarrollan una relación simbiótica con la planta para facilitar un mejor abastecimiento mineral y tolerancia a la sequía (Díaz 2003).

No obstante, la fertilización con compost aumenta el contenido de carbono y nitrógeno orgánico, la actividad de la deshidrogenasa y la biomasa microbial, entre otros, favoreciendo la biomasa de algunas especies forestales entre ellas *Quercus robar* (Carpenter *et al.* 2000) En Brasil, Carneiro *et al.* (1998) describen la ocurrencia de micorriza arbuscular para algunas especies forestales, presentándose *Cordia trichotoma* con baja micotrofia y *Tabebuia* sp. con alta micotrofia. Según Agus (2001) las plantaciones de *G. arborea* en regiones tropicales, utilizan más los nutrientes reciclados que los nutrientes disponibles en el suelo, por lo que se debe considerar la aplicación de fertilizantes para aumentar su productividad.

2.12.7 Acidez, basicidad y reacción del suelo

La concentración del ion hidrógeno es una propiedad importante del suelo, ya que afecta el crecimiento de las raíces y los microorganismos en el suelo. El crecimiento de raíces es generalmente favorable en valores de pH de 5.5 - 6.5. Los iones K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} y Mn^{2+} incrementan la solubilidad de carbonatos, sulfatos y fosfatos facilitando la absorción de las raíces. Los efectos perjudiciales de la acidez no se manifiestan hasta valores de pH inferiores a 5.5, por la toxicidad del aluminio y la poca disponibilidad de los nutrientes, mientras que los suelos que presentan pH de 9 – 12 contienen carbonato sódico y sus condiciones fisico-químicas son muy desfavorables (Taiz & Zeiger 2002, Porta *et al* 1999).

Los suelos del departamento de Bolívar presentan generalmente reacciones que van desde ligeramente ácidas a fuertemente alcalinas, tanto en las partes bajas como en la zona de colinas el pH muestra cierta tendencia a ser más alcalino, debido a la presencia de material calcáreo y de sodio intercambiable. Mientras que en zonas donde el pH es ácido a lo largo del perfil se debe a que esta asociado a un drenaje natural imperfecto y a la presencia de aluminio de cambio (Monterrey Forestal 1983, IGAC 1998).

2.12.8 Relaciones aire – suelo

La composición (por volumen) de un suelo de textura media es de 35% de materia mineral, 15% de materia orgánica, 25% de agua y 25% de aire (M Cadena com. pers.). Los poros ocupados por aire o agua se clasifican de acuerdo a su tamaño, entre los cuales están macroporos, mesoporos y microporos (Singer & Munns 1999).

La atmósfera interna del suelo constituye un factor básico para el crecimiento de las plantas, al tener relación íntima con la textura y la estructura, determinada por una parte con la penetración y extensión del sistema radical y por otra con el flujo de la humedad y los cambios que la acompañan (Montenegro & Malagón 1990).

La capacidad del aire del suelo se define como el contenido que presenta un suelo en aire después de ser saturado con agua y dejado drenar durante 24 horas. Puede relacionarse con el punto de capacidad de campo ya que en este punto la gravedad ha obrado sobre los macroporos disminuyendo su contenido de humedad, mientras que en los microporos el agua continua almacenada, por lo tanto la capacidad de aire esta asociada con la macroporosidad de la cual depende la aireación del suelo (Montenegro & Malagón 1990).

Texturas finas retienen humedad en mayor proporción presentando una capacidad de aire reducidas, mientras que texturas arenosas retienen humedad en menor proporción, pero tienen mayor capacidad de aire. De manera general, se afirma que el grosor de las raíces determina su requerimiento en presión de O₂, esto significa que

raíces más grandes y gruesas necesitan mayores concentraciones de O₂ que las más delgadas. Cuando el contenido de O₂ disminuye al menos del 10 %, los cultivos se ven limitados en su crecimiento (Montenegro & Malagón 1990).

2.13 Relaciones hídricas

2.13.1 Agua en el suelo y almacenamiento

La disponibilidad de agua en el suelo para las plantas depende fundamentalmente de la cantidad de agua almacenada en el suelo y de sus relaciones con el potencial hídrico (Wang 2005). La matriz del suelo retiene agua por las fuerzas adsorptivas de las propiedades del agua como los puentes de hidrógeno y la bipolaridad; estas propiedades producen a las moléculas de agua adhesión y cohesión a la superficie.

El agua en el suelo forma una película de adherencia en la superficie de las partículas del suelo y se llenan los canales existentes entre esas partículas, sin embargo la capacidad de almacenamiento depende del tipo de suelo. (Taiz & Zeiger 2002, Singer & Munns 1999) Por ejemplo en suelos arcillosos en que hay mayor cantidad de microporos, el agua es retenida fuertemente, en contraste con los macroporos donde es más difícil de ser retenida y drena después de la lluvia (Lambers *et al.* 1998).

De acuerdo con Tyree (2002) *Licania platypus* puede extraer el 70% del contenido de agua en suelos arcillosos en la isla Barro Colorado antes de un estado ligeramente marchito. *G. arborea* se considera sensible a la sequía, según Ogbonnaya (1992) los efectos del goteo causan estrés hídrico, reduciendo el crecimiento, diámetro y el área foliar.

2. 13.2 Determinación del porcentaje de humedad del suelo

La cantidad de agua existente en el suelo en determinado momento es comúnmente expresada como porcentaje del peso del suelo seco a la estufa (Dorrnsoro 2005). En el laboratorio el método para determinar el contenido de humedad es el gravimétrico,

donde la muestra de suelo es pesada inicialmente (P_1), y secada en estufa a 105°C por 24 horas y pesada otra vez (P_2). La formula para hallar el contenido de agua es: $((P_1 - P_2) / P_2) \times 100$ (Singer & Munns 1999).

2.13.3 Capacidad de campo, agua capilar e higroscópica

La capacidad de campo es el contenido de agua que se retiene en un suelo después de ser saturado con agua (Lambers *et al.* 1998). El agua capilar se encuentra en los tubos capilares del suelo, se distingue de la absorbible, que se encuentra en los tubos capilares de 0.2 – 8 micras y la no absorbible, que se encuentra en los tubos capilares menores a 0.2 micras. El agua higroscópica se presenta como una fina película alrededor de las partículas del suelo, probablemente de sólo tres capas de moléculas de agua de espesor, no esta sometida a movimiento y no es asimilable para las plantas (Dorrnsoro 2005).

En el caso de suelos no salinos, el potencial hídrico a capacidad de campo varía entre -0.1 a -0.3 bares. El contenido de agua es mayor a capacidad de campo en texturas finas con altos contenidos de arcilla y materia orgánica (Lambers *et al.* 1998). Un suelo mineral saturado puede tener entre 25 y el 60% de humedad gravimétrica dependiendo de la densidad aparente. Mientras que los suelos arenosos saturados tienen del 40 al 50% de humedad volumétrica, los suelos de textura media se aproximan al 50% y los suelos arcillosos tienen más del 50% (M. Cadena com. pers.).

En cuanto al índice grado de saturación, el cual se refiere a que tanto del volumen poroso es ocupado por agua los valores varían de 0 para suelos secos a 100% para suelos completamente saturados (Brase 2004). Aunque este dato no suele ser exacto para suelos expandibles ya que la porosidad cambia con el contenido de humedad.

2.13.4 Punto de marchitez permanente

Por el contrario a la capacidad de campo, el Punto de Marchitez Permanente (PMP) es el potencial hídrico del suelo más negativo al cual las hojas de las plantas no

recobran su turgencia. En efecto, el valor del PMP depende de las condiciones climáticas del suelo y de la conductividad hidráulica (Singer & Munns 1999). Sykes (1969) (citado por Landon 1984) encuentra variación entre las especies de -7 a -39 bares, sin embargo el PMP es cercano a los -15 bares (pF 4.2), aunque depende del tipo de planta (Lambers *et al.* 1998, Taiz & Zeiger 2002, Singer & Munns 1999). Según Tyree *et al.* (2002) para *Licania platypus* el contenido de agua de la hoja varía de 0.854 g.g⁻¹ en estado normal a 0.144 g.g⁻¹ a punto de marchitez permanente, mientras que el contenido de agua en el suelo varía de 0.30 g.g⁻¹ a 0.15 g.g⁻¹ desde ligeramente marchito hasta la muerte.

2.13.4.1 Estados de marchitez

De acuerdo con Tyree *et al.* (2003) en su estudio de tolerancia a la desecación para *L. platypus*, se describen cinco estados de marchitez hasta el PMP con un periodo de sequía de hasta 22 semanas. A continuación se describen los estados de marchitez para esta especie. (1) Ligeramente marchita: Hojas verdes pero con un ángulo ligeramente torcido. (2) Marchita: Hojas verdes con un ángulo de 45°, sus extremos comienzan a plegarse y hay necrosis limitada. (3) Severamente marchita: Hojas verdes con el ángulo de 90°, con un excesivo pliegue y la necrosis es más extensiva. (4) Cercana a la muerte: Muchas de las hojas necroticas, extensivo pliegue en las hojas. (5) Muerte: Todas las hojas necroticas, hojas frágiles que se caen.

2. 13.5 Movimiento del agua en los suelos

El movimiento del agua ocurre cuando hay diferencias de potencial entre diferentes puntos del sistema. El agua tiende a moverse de un potencial más negativo a menos negativo, ya que la tensión puede exceder el componente gravitacional y el agua puede moverse verticalmente hacia arriba y hacia abajo o permanecer sin movimiento, cuando el gradiente de tensión balancea la fuerza de gravedad (Cadena 1997).

2.13.5.1 Movimiento del agua en el interior de los suelos

El agua que penetra en el suelo proviene de irrigación, lluvia, inundación o filtración de canales de agua. Algunas veces, toda la superficie del suelo esta mojada y, otras, sólo parte de ella esta en contacto con el agua. Si toda la superficie esta mojada el movimiento será en una sola dirección: vertical hacia abajo; por el contrario, si el suelo está muy seco, el movimiento lateral puede ser, por cierto tiempo, tan grande como el movimiento hacia abajo (Cadena 1997).

Cuando el agua se infiltra en el suelo, llena el reservorio de humedad hasta rebasarlo en cada intervalo sucesivo de profundidad, por lo tanto, la cantidad de agua que entra en un suelo dado, en cierto tiempo depende de la cantidad de agua que ese suelo pueda almacenar y de la velocidad con que le exceso de agua se transmite a través del suelo húmedo, la frente de mojadura en contacto con el suelo seco de abajo (Palmer & Troeh 1989, Cadena 1997)

2.13.5.2 Movimiento del agua en suelos saturados

El flujo en suelos saturados se da cuando la presión hidrostática es positiva y el potencial mátrico equivale a cero. En estos suelos aproximadamente el 95 % de los poros esta lleno de agua y el 5 % esta lleno de aire (Soil survey staff 2005). El término almacenamiento permanece constante y la velocidad del flujo es directamente proporcional a la fuerza impulsora (Cadena 1997).

La primera ley del flujo de la humedad (ley de Darcy) dice que en suelo saturado el agua se mueve en dirección de la disminución de presión hidráulica, con una velocidad proporcional a la diferencia de presión hidráulica entre dos puntos, y la conductividad del suelo al agua, e inversamente a la distancia entre los dos puntos (Cadena 1997).

2.13.5.3 Movimiento del agua en suelos no saturados

El total del agua que entra en un suelo dado es mayor cuando el suelo está seco que cuando está mojado; sin embargo, la velocidad con que el agua avanza a través del suelo es menor cuando el suelo está seco (Cadena 1997). El agua puede moverse a través del suelo en fase líquida o gaseosa (Taiz & Zeiger 2002, Soil survey staff 2005) En general, la proporción del movimiento del agua en fase gaseosa aumenta a medida que la película del agua se hace más delgada como resultado del secamiento del suelo. Los cambios térmicos y osmóticos participan del mecanismo de conducción del agua, creando gradientes de viscosidad del agua y gradientes de difusividad de vapor de agua (Cadena 1997).

La segunda ley del flujo de humedad se refiere al estado de los suelos no saturados y puede enunciarse de la siguiente forma: “el agua fluirá a través de una interfase aire-agua solamente cuando la presión hidráulica sea suficientemente mayor que la presión atmosférica para que venza la tensión superficial del fluido”. De esta forma, los macroporos se llenarán de aire y restringirán el flujo, por lo tanto, prevalecerá el flujo a través de los microporos dando lugar al flujo capilar (Cadena 1997, Singer & Munns 1999).

2. 13.6 Tensión de humedad

El movimiento capilar del agua se presenta como respuesta a un gradiente de tensión. La tensión es producto de la atracción que experimentan las moléculas de agua hacia la superficie de las partículas del suelo (adhesión) y hacia las mismas (cohesión). La fuerza involucrada se conoce como tensión de humedad del suelo (Palmer & Troeh 1989). También se define como la presión hidrostática negativa o la tensión de succión que ejerce la planta para lograr el equilibrio hidráulico (Taiz & Zeiger 2002).

Cuanto más delgada sea la capa de agua alrededor de las partículas de suelo y más pequeños los poros llenos de agua, más elevada será la tensión de humedad del suelo. Si existe diferencia en la tensión de humedad del suelo entre dos lugares próximos, el

agua tenderá a moverse lentamente (movimiento capilar o flujo no saturado) del lugar de menor hacia el de mayor tensión y ayudara a la raíz del suelo a obtener la humedad necesaria para satisfacer sus necesidades (Palmer & Troeh 1989).

Al ser más elevada la tensión de humedad puede generar efectos no deseables en las plantaciones forestales o frutales. El rendimiento de fruta de *Cucumis melo* es inversamente proporcional a la tensión de humedad; a tensiones de -10 bares se presenta el mejor rendimiento, mientras que a -45 bares el rendimiento disminuye hasta 20% (Pérez *et al.* 2004)

2. 13.6.1 Determinación de la tensión de humedad

Un tensiómetro mide la fuerza con la cual es adherida el agua por las partículas del suelo. Esta fuerza se refiere a la tensión de succión, indicando que tan fuerte es sujeta el agua por el suelo y cuanta energía debe ser ejercida por las raíces de la planta para remover y usar esta agua. Los componentes básicos del tensiómetro incluyen una copa de cerámica, un tubo plástico y un medidor de vacío. Este instrumento es llenado con agua e insertado en el suelo, el agua se mueve adentro y afuera del tensiómetro, entre más seco el suelo, el agua sale del tensiómetro y crea un vacío, que indica la medida (Soil moisture 2004).

2. 13.6.2 Curvas de retención de humedad

Las curvas de retención de humedad definen la relación entre el contenido de agua desde capacidad de campo hasta punto de marchitez permanente y el potencial mátrico del suelo, que son importantes para estudiar el flujo del agua en suelos no saturados (Wang 2005). La curva de retención de humedad del suelo es la representación gráfica del porcentaje de humedad del suelo en el eje Y versus la tensión de humedad en el eje X (en bares).

Asumiendo que un suelo arenoso tiene un porcentaje de humedad de 39%, un suelo franco 50% y un suelo arcilloso 55% a una tensión de humedad de cero bares, el agua

disponible para el suelo arenoso es 6%, el franco 29% y el arcilloso 20%, mientras que el agua que drena es para el suelo arenoso 29%, franco 12% y el arcilloso 6%, la diferencia es el valor residual o agua no disponible que en el caso de las arcillas es muy alto (Singer & Munns 1999).

2.13.7 Balance hídrico

El balance hídrico es la valoración del agua del suelo a través del año, se estima por los aportes, pérdidas y retenciones. El agua retenida es la diferencia entre el agua recibida por precipitaciones (mm,) y el agua pérdida por evapotranspiración (mm,) y escurriencia (Dorronsoso 2005).

El balance hídrico se realiza partiendo de los datos climáticos mensuales de precipitación y temperatura. A partir de las temperaturas se calculan las evapotranspiraciones potenciales (cantidad de agua que se podría perder considerando las características climáticas) y reales (cantidad de agua que realmente se pierde teniendo en cuenta la que hay en el suelo en cada momento). Luego se calcula la reserva de agua en el suelo (agua útil por profundidad de enraizamiento por la densidad aparente) para saber la cantidad de agua que puede almacenar el suelo (reserva de agua para los meses secos) y posteriormente se mide como varía la reserva a lo largo del año (Dorronsoso 2005).

2.13.8 Potencial hídrico y sus componentes

El movimiento y la disponibilidad de agua para la planta están dirigidos por un gradiente de potencial hídrico (ψ_w), que es una expresión de un estado de energía libre del agua para realizar un trabajo. El movimiento se da de potenciales menos negativos a potenciales más negativos. Dicho potencial resulta de la suma de 4 componentes: el potencial osmótico ψ_s (concentración de solutos), la presión hidrostática ψ_p (tensión por succión), el potencial mátrico ψ_m y la gravedad ψ_g . El movimiento del agua a través del continuo suelo – planta – atmósfera se da por un

diferencial de gradientes, siendo de más negativo a menos negativo (Lambers *et al.* 1998, Taiz & Zeiger 2002).

La concentración de solutos y la presión hidrostática son los principales factores que afectan el potencial hídrico en la planta, mientras que el efecto de la gravedad depende de la altura de la planta. El potencial mátrico es el componente más importante en suelos no saturados, y es equivalente a una gran tensión (Singer & Munns 1999).

2.13.9 Fases de la ruta de transporte

Existen 4 fases de la ruta de transporte a través del continuo suelo- planta – atmósfera: 1) Transporte de agua y solutos desde el suelo hasta la raíz 2) Transporte de agua y solutos hasta el xilema de a raíz 3) Transporte de agua y solutos desde el xilema de la raíz hasta el tallo 4) Transporte de agua y solutos desde el tallo (intercambio de gases) hasta el mesofilo de la hoja y posteriormente hacia la atmósfera (Taiz & Zeiger 2002).

2.13.10 Transporte y translocación de agua y solutos

En la primera fase el potencial hídrico del suelo esta en función del potencial osmótico y de la presión hidrostática negativa causada por adhesión y tensión superficial. Los pelos radicales hacen un contacto íntimo con las partículas de suelo y amplían el área superficial necesaria para la absorción de agua por la planta (Taiz & Zeiger 2002)

Posteriormente el agua atraviesa de la endodermis a la epidermis de la raíz (cortex) se da vía apoplasto, incluyendo camino transmembranal y vía simplasto (entre las células) hasta llegar al xilema. En muchas plantas el xilema, las traqueidas y los miembros del vaso (tejido muerto) debido a su anatomía especializada permite el transporte de grandes cantidades de agua con gran eficiencia. La falta de membranas celulares en las traqueidas y perforaciones en las paredes de los miembros del vaso

permite que el agua se mueva a través de los capilares en respuesta a gradiente de tensión (Lambers *et al.* 1998, Taiz & Zeiger 2002)

El agua para llegar al punto más alto del árbol, desarrolla una gran tensión (presión hidrostática negativa) y esta tensión jala el agua hacia lo más alto de la columna de agua en el xilema, sin embargo por la noche cuando la transpiración es baja la tensión en el xilema decrece y el vapor de agua y los gases pueden regresar a la solución del xilema y a los espacios libres. Por último el movimiento de vapor de agua en la hoja hacia la atmósfera se da por difusión a través de los estomas, siendo la fuerza que dirige esta pérdida de agua un gradiente de concentración de vapor de agua (Lambers *et al.* 1998, Taiz & Zeiger 2002)

2.14 Estrés hídrico

El agua es importante en todos los procesos fisiológicos de la planta, especialmente la fotosíntesis, debido a que la molécula se debe romper por fotólisis, a fin de obtener electrones para generar el poder reductor, liberando oxígeno como producto de desecho. Además da turgencia a la célula vegetal, facilita el transporte de metabolitos a través de la célula, y disuelve iones, aminoácidos y proteínas, para las múltiples reacciones metabólicas (Kovalsky 2004).

El estrés hídrico se da cuando la disponibilidad de agua se reduce o aumenta excesivamente, causando un efecto adverso sobre el crecimiento, desarrollo o productividad de la planta, factores tales como las sequías, altas concentraciones de sal en el suelo y bajas temperaturas disminuyen la cantidad de agua disponible para la planta (Buchanan *et al.* 2000).

En dado caso que la transpiración exceda la absorción de agua y se tenga buen suministro de esta, la planta se podrá mantener turgente. Sin embargo, cuando la pérdida por transpiración no se pueda balancear con una absorción adecuada de agua, el potencial hídrico de la planta se hace más negativo y el déficit de agua se convierte en estrés hídrico (Taiz & Zeiger 2002)

La forma como responden las plantas a distintas situaciones de estrés hídrico va ser diferente según la especie. Existen plantas que no resisten el estrés hídrico mientras que hay otras que tienen estrategias bien elaboradas, tanto a nivel fisiológico, como molecular y genético para soportarlo. Cuando hay carencia de agua, se presenta disminución aguda en la presión interna de la célula, lo que se manifiesta en una pérdida de turgencia (Buchanan *et al.* 2000).

Si hay pérdida de turgencia la planta comienza a mostrar síntomas de marchitamiento; una célula plasmolisada no está en condiciones óptimas para continuar con el ciclo celular y concluir con la mitosis. En el tabaco el ácido jasmónico y el ácido abscísico previenen la replicación del DNA y mantienen las células en fase G1 (Swiatek *et al.* 2003). Además ocurre cierre de estomas, aunque si este se prolonga compromete la tasa fotosintética (Taiz & Zeiger 2002).

2.15 Unidades Cartográficas

El uso de fotografías aéreas de suelos son un instrumento para el conocimiento y necesidad de mapear grandes áreas, por lo tanto su uso sirve para realizar mapas geográficos entre otras muchas técnicas. (Soil survey staff 2005). La evaluación de la aptitud de tierras para uso forestal incluye la ejecución y la interpretación de información básica respecto a las condiciones climáticas, características del paisaje, relieve y suelos (Inta 1981).

Monterrey Forestal Ltda. (1983) y las empresas Carolina Cartographics, Sharpe Company & el Servicio Aerofotogramétrico de Colombia generaron un mapa de suelos a escala 1:15.000 con 85 unidades cartográficas de las series de suelos presentes en la zona. Tres principales provincias son identificables en el área de reconocimiento: 1) Una zona de baja elevación inundable a lo largo del oeste del río Magdalena, la cual es dominada por texturas arcillosas 2) Un tercio de la región central dominada por texturas arenosas y francas en relieves de altiplano y 3) Laderas

ocupando el sur y el este de la zona con elevaciones entre 9 y 110 m.s.n.m (Monterrey Forestal 1983).

Con base en mapa de suelos de los municipios de Zambrano y Córdoba del IGAC (1975) que presentaba nueve unidades cartográficas y con la ayuda de un mapa de pendientes de escala 1: 25.000 elaborado por INFOMAP se logró enriquecer la zona objeto de trabajo mediante el detalle de doce unidades cartográficas dando como resultado la separación de pendientes para las 16.000 hectáreas de la Hacienda Monterrey Forestal Ltda. La composición de cada unidad cartográfica hace referencia al paisaje, tipo de relieve y forma del terreno y el detalle de las pendientes permitió separar la zona plana, de especial interés para el objeto del aprovechamiento forestal y separar algunas pendientes en la zona colinada.

3. Formulación del problema y justificación

G. arborea es una de las especies tropicales más plantadas en el mundo, perteneciente a la familia VERBENACEAE, de amplia distribución geográfica; principalmente en Asia, Oeste de África, Centro y Suramérica.

Pizano S.A./Monterrey Forestal Ltda. han venido desarrollando técnicas de propagación vegetativa con el propósito de establecer un programa de silvicultura clonal para sus plantaciones con esta especie. El programa de mejoramiento genético por selección masal ha seleccionado clones para producir árboles de mayor volumen y densidad de la madera, que se propagan vegetativamente por medio de estacas enraizadas.

Las plantaciones clonales de *G. arborea* requieren el uso de clones tolerantes al estrés hídrico para asignarlos a sitios potenciales de plantación. La tensión de humedad del suelo al Punto de Marchitez Permanente (PMP), es una variable que debería ser considerada para asignar clones a las unidades cartográficas- series de suelo de la zona de estudio, de encontrarse variación por razones genéticas.

Por lo tanto, sería conveniente considerar, previo estudio en condiciones de invernadero, del comportamiento de diferentes clones de *G. arborea* ante la reducción de la tensión de humedad desde capacidad de campo hasta el punto de marchitez permanente, para establecer si esta variable puede o no emplearse en los ensayos clon - sitio. Además, se espera aportar criterios para obtener mejores rendimientos a largo plazo de la plantación.

3.1 Pregunta de Investigación

¿Existen diferencias en la respuesta de 27 clones de *Gmelina arborea* ante la reducción de la tensión de humedad en condiciones de invernadero, desde el punto de capacidad de campo hasta el punto de marchitez permanente en suelos

representativos de nueve unidades cartográficas localizadas en Monterrey Forestal Ltda. en los municipios de Zambrano y Córdoba (Bolívar)?

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

Evaluar el efecto de la reducción de la tensión de humedad del suelo en condiciones de invernadero desde el punto de capacidad de campo hasta el punto de marchitez permanente sobre la respuesta de 27 clones de *Gmelina arborea* en suelos representativos de nueve unidades cartográficas localizadas en Monterrey Forestal Ltda. en los municipios de Zambrano y Córdoba (Bolívar).

4.2 Objetivos Específicos

- Establecer la tensión de humedad del suelo al punto de marchitez permanente para los 27 clones de *Gmelina arborea* en cada unidad cartográfica- serie de suelo.
- Establecer el porcentaje de humedad del suelo al punto de marchitez permanente para los 27 clones de *Gmelina arborea* en cada unidad cartográfica – serie de suelo.
- Asignar los clones de *Gmelina arborea* de acuerdo al comportamiento estudiado en las unidades cartográficas – series de suelos de la Hacienda Monterrey Forestal.

4.3 Hipótesis

La tensión de humedad del suelo a la cual se alcanza el punto de marchitez permanente de un clon específico de *Gmelina arborea* es constante e independiente del tipo de suelo donde se siembre.

4.4 Predicciones

La tensión de humedad a la cual se alcanza el punto de marchitez permanente para los clones de *Gmelina arborea* en los diferentes suelos es igual y por lo tanto no existirá una respuesta diferencial para los clones.

5. Materiales y Métodos

5.1 Tipo de estudio

El presente trabajo de investigación es un estudio analítico de tipo experimental

5.1.1 Localización

El trabajo de campo fue realizado en un invernadero de Monterrey Forestal Ltda., en el municipio de Zambrano (Bolívar) en condiciones de temperatura ($35^{\circ}\text{C} \pm 6$) y humedad relativa ($65\% \pm 15$) durante siete meses y medio (Figura 1).

5.1.2 Población de estudio y muestra

5.1.2.1 Clones

La población de estudio comprendió rametos de *G. arborea* correspondientes a 27 clones en edades de cuatro a seis meses. Fueron seleccionados 27 rametos por clon con alturas y diámetros al cuello de raíz similares. El sistema de propagación vegetativa utilizada en Monterrey Forestal Ltda. es el de estacas enraizadas. La obtención de este material vegetal se hace en el jardín clonal de estacas de media hectárea ubicada en el vivero, donde a los rametos de los clones se les cortan las yemas terminales y las que están suculentas se siembran y son cubiertas con plástico transparente en el invernadero para su enraizamiento. Al cabo de 20 días este material vegetal es llevado a campo y aclimatado para su crecimiento rusticación y endurecimiento.

5.1.2.2 Suelos

La población de estudio comprendió diferentes series de suelos a lo largo de las 16.000 hectáreas localizadas en Monterrey Forestal Ltda. en los municipios de Zambrano y Córdoba (Bolívar). Las muestras del suelo se tomaron en nueve lotes,

correspondiente cada lote a la combinación de una unidad cartográfica de pendientes con una serie de suelo. La metodología utilizada se describe en la Figura 1.

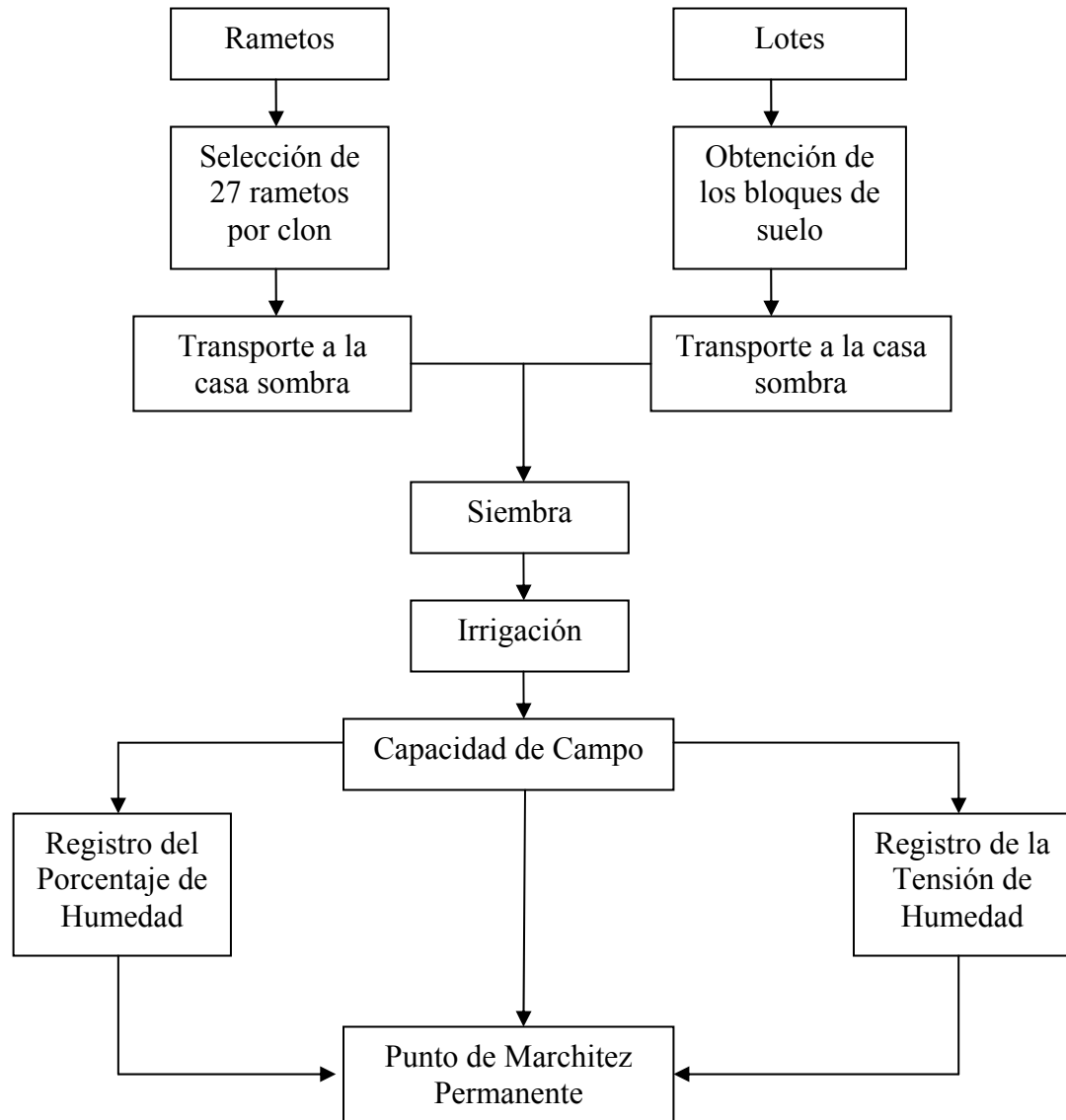


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología para el desarrollo de la investigación.

5.2 Obtención de los bloques de suelo

Las muestras de suelo se seleccionaron a partir tres mapas; el primer mapa de las series de suelo, el segundo un mapa de pendientes y el tercero un mapa de predios

todos a escala 1:25.000; en ellos se ubicaron nueve unidades cartográficas – series de suelo (Figura 2). Posteriormente en campo, en cada unidad se ubicó la calle más cercana de la plantación y en un radio no mayor a tres metros se colectaron 100 muestras de suelo, cada muestra de 7.853 centímetros cúbicos de suelo no disturbado en pedazos de tubo de pvc de 25 cm, de largo por 20 cm, de ancho, tomando la coordenada geográfica correspondiente. Posteriormente las muestras de suelo fueron llevadas a la casa sombra del vivero. (Tabla 5, Figuras 3-6).

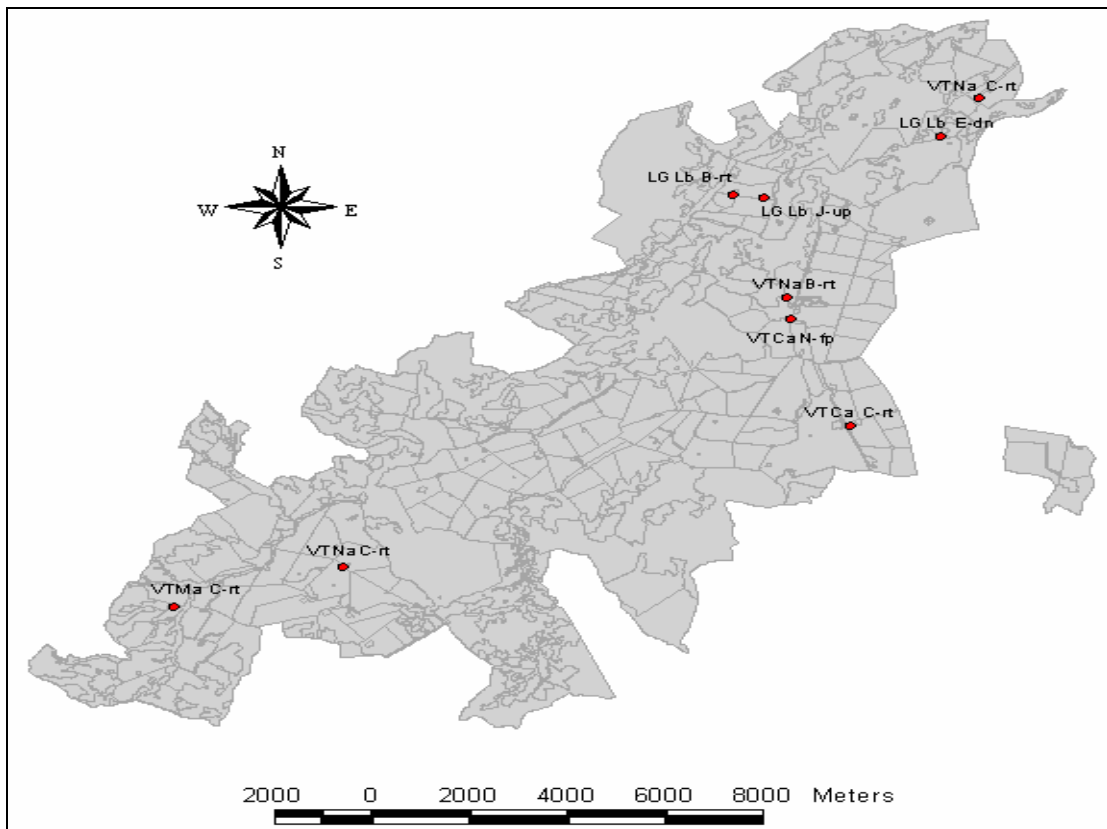


Figura 2. Ubicación de los nueve puntos de muestreo en Unidades cartográficas – Series de suelo representativas.

5.2.1 Caracterización de las propiedades físico y químicas del suelo

Un total de nueve muestras de suelo de 15 cm, de largo por 20 cm, de ancho correspondientes a cada lote fueron cubiertas completamente con papel Darnel Wrap® y enviadas al laboratorio de suelos del IGAC. Los métodos utilizados para la

caracterización de las propiedades físico y químicas del suelo fueron: Bouyoucos para textura, Walkley – Black para el porcentaje de carbón orgánico (materia orgánica), pH, Acetato de amonio normal y neutro para la capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables (Ca, Mg, Na y K), Bray II para Fósforo; método del picnómetro para densidad real y método del cilindro para densidad aparente, Porcentaje de porosidad total que incluye (macroporos, mesoporos, microporos y poros menores de una micra) y la carga constante en muestras inalteradas para conductividad hidráulica.

5.2.2 Selección de las plantas

Las plantas seleccionadas en el vivero tenían una altura y un diámetro de cuello de raíz promedio por clon, dos pares de hojas y 12 cm de largo de raíz. Se seleccionaron 27 rametos por clon, que multiplicados por 27 clones da un total de 729 rametos.

5.2.3 Siembra de las plantas en los diferentes suelos

En cada bloque de suelo se abrió un hueco para sembrar cada rameto e inmediatamente se irrigaba y se esperaba un mes hasta que la planta colonizara con sus raíces el bloque de suelo. Una vez establecidos los clones se llevaron a Capacidad de Campo y el sustrato se cubrió con papel plástico transparente. Los clones se sembraron por grupos durante cuatro meses.

5.2.4 Variables del estudio

Variables dependientes

- Tensión de humedad del suelo a la cual se alcanza el punto de marchitez permanente de los rametos de *G. arborea*, es decir la tensión de humedad del suelo a la cual el rameto se marchita. El registro de la tensión de humedad se realizó con un tensiómetro digital de sondas Watermark®, desde que el bloque de suelo se llevó a

capacidad de campo hasta que la estaca se marchito. Esta variable se midió con una frecuencia quincenal.

- Tiempo que duró cada rameto desde capacidad de campo hasta punto de marchitez permanente, el cual se refiere al número de días que duró el rameto después de ser llevado a capacidad de campo hasta que se marchito.

- Porcentaje de humedad del suelo al cual se alcanza el punto de marchitez permanente de los rametos de *G. arborea*, que se refirió a la humedad de una fracción de suelo cuando cada rameto se marchitara. El registro del porcentaje de humedad se realizó al tiempo que se media la tensión de humedad en cada bloque de suelo, es decir desde capacidad de campo hasta punto de marchitez permanente. Esta variable se midió con una frecuencia quincenal.

Variable independiente: Propiedades físico y químicas de los suelos. Las propiedades físico y químicas son textura, materia orgánica, pH, capacidad de intercambio catiónico, elementos mayores (Ca, Mg, Na y K), Fósforo, saturación de bases, densidad real y aparente, porosidad y conductividad hidráulica. Se midieron en el laboratorio de suelos del IGAC.

5.2.5 Diseño experimental

El diseño de campo establecido fue completamente al azar. La unidad experimental es cada rameto sembrado en un bloque de suelo, para un total de tres repeticiones por tratamiento.

5.2.5.1 Tratamientos

Están constituidos por la combinación de los factores unidades cartográficas de pendiente-serie de suelo y clones. En el anexo A se muestran 243 tratamientos utilizados en el experimento.



Figura 3. Casa sombra del vivero en Monterrey Forestal Ltda. donde fue realizado el estudio.



Figura 4. Unidad Cartográfica LGLb, lote Petate 03, serie Jurado.



Figura 5. Unidad Cartográfica VTNa, lote San José 01, Serie Casablanca.



Figura 6. Unidad Cartográfica VTCa, lote Andaluz 17, Serie Bolívar.

Tabla 5. Datos básicos de las unidades cartográficas donde se obtuvieron las nueve muestras de suelo.

Símbolos de las unidades cartográficas de las pendientes	Lote	Serie	Símbolos de las unidades cartográficas de las series	Latitud coordenada plana	Longitud coordenada plana	Altitud m.s.n.m
VTNa	San José 01	Casablanca	C – rt	1568121.260	917173,670	10
VTNa	Andaluz 17	Bolívar	B – rt	1562652.815	913237.670	25
VTCa	Andaluz 21	Nechi	N – fp	1562044.202	913335.044	26
LGLb	Petate 03	Jurado	J – up	1565400.911	912783.096	57
LGLb	Malicia 01	El Carmen	E – dn	1567072.161	916388.250	15
VTCa	Papayo 01	(Casablanca) ¹	C – rt ¹	1559099.035	914553.887	19
LGLb	Petate 02a	Bolívar	B – rt	1565485.383	912137.547	22
VTNa	Totumito 04	(Casablanca) ¹	C – rt ¹	1555241.245	904206.033	21
VTMa	Modelo 14	(Casablanca) ¹	C – rt ¹	1554136.646	900761.570	26

¹Las propiedades físico y químicas del suelo se asemejan a la serie Casablanca - rt

5.2.6 Determinación del porcentaje de humedad y la tensión de humedad del suelo

A cada bloque de suelo sembrado con un rameto se le colocaba una placa con el número del tratamiento y su repetición, el bloque fue irrigado diariamente durante un mes después de la siembra, con el fin de que las raíces colonizaran el sustrato. Luego el bloque fue llevado a saturación y totalmente cubierto con papel Darnel Wrap® según la metodología de Silva (2002), dejando un hueco en la parte lateral del bloque para colocar la sonda que registro la tensión de humedad. A capacidad de campo se tomo la primera lectura de tensión de humedad y de porcentaje de humedad gravimetrica, tomando una fracción de 2 cc³ de suelo de la parte superior, estimando su peso antes y después de ser secado en el horno a 105 °C durante 24 horas mediante la siguiente formula.

$H (\%) = (M_{ag}/M_s) \times 100$ es decir

$\% \text{ Humedad gravimétrica} = (M (\text{Suelo}) - M (\text{Suelo secado al horno}) / M (\text{Suelo secado al horno})) \times 100$

M = Masa, M_{ag} = Masa del agua, M_s = Masa de los sólidos, H = Humedad %

Estas dos mediciones se realizaron cada quince días en todos los bloques hasta que el rameto se marchitara, es decir llegara al punto de marchitez permanente. Además diariamente se tomaba la lectura de la humedad relativa y la temperatura cada hora desde las 07: 30 hasta las 15: 30.

5.3 Recolección de la información.

El registro de la tensión de humedad y el porcentaje de humedad se realizó cada quince días por tratamiento desde capacidad de campo hasta el punto de marchitez permanente, para un total de siete meses y medio para todo el experimento.

5.4 Análisis de la información.

Los datos de las tres variables de respuesta fueron analizados con el paquete S.A.S. (Statistical Analysis System) utilizando el procedimiento de modelos lineales (GLM). Primero se realizó la prueba de normalidad para las tres variables de respuesta (Anexo B). Aunque en ninguna variable de respuesta los datos cumplieron el supuesto de normalidad, según Wasserman & Neter (1974) para efectos del modelo fijo la pérdida de normalidad no es materia importante. Se realizó un diseño con estructura factorial para los tratamientos donde se realizaron análisis de varianza por grupos de siembra y un análisis de varianza general para las variables Punto de Marchitez Permanente, Porcentaje de Humedad al PMP y duración desde Capacidad de Campo hasta Punto de Marchitez Permanente. Además se realizó una comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey) para los clones y unidades cartográficas - series de suelo de la variable tensión de humedad al PMP por grupos de siembra y de también de manera individual.

La ecuación de regresión múltiple para el cálculo del punto de marchitez permanente (PMP) fue calculada con Microsoft Excel, utilizando el procedimiento Estimación Lineal. La asignación de los clones en las unidades cartográficas fue realizada y analizada en el programa ArcView GIS 3.3. En cuatro archivos shape (formato propio de ArcView para almacenar información de geografía) se analizaron tres mapas digitales junto con los puntos muestreados, para generar un mapa donde se ubicaron en los clones seleccionados en las diferentes unidades cartográficas – series de suelo.

6. Resultados y Discusión

En los 243 tratamientos se registraron un total de 58 unidades perdidas por daño mecánico, de manera que para el análisis estadístico fue necesario aplicar la corrección de Yates para datos perdidos (Cochran & Cox 1983). Se analizaron entonces 239 tratamientos que corresponden a 717 rametos de 27 clones.

Los rametos empleados variaron en no más de 6 centímetros, de altura, ya sea por encima o por debajo del promedio, la mayor altura promedio fue para el clon 79 con 39.87 cm de largo, y la menor altura promedio fue para el clon 67 con 28.81 cm de largo, mientras que el diámetro de cuello de raíz (dcr) varió 2 milímetros del promedio del clon, encontrándose el mayor diámetro de cuello de raíz para el clon 53 con 0.59 cm, y el menor para el clon 56 con 0.52 cm, (Tabla 6).

6.1 Punto de Marchitez Permanente (PMP)

6.1.1 Análisis del PMP por grupos de siembra

El Punto de Marchitez Permanente fue analizado por grupos de siembra. Los clones seleccionados por Monterrey Forestal Ltda. para el estudio, fueron sembrados por grupos en diferentes meses. El primer grupo corresponde a los clones 1, 53, 24, 62, 67, 68, 78 y 86, los cuales fueron sembrados en el mes de diciembre de 2005 y llevados a capacidad de campo en el mes de enero de 2006. El segundo grupo corresponde a los clones 15, 48, 49, 51, 60, 66, 94 y 112, que fueron sembrados en enero de 2006 y llevados a capacidad de campo en el mes siguiente. El tercer grupo corresponde a los clones 37, 56, 64 y 75, que fueron sembrados en el mes de marzo y llevados a capacidad de campo en el mes de abril y el último grupo corresponde a los clones 31, 32, 40, 55, 61, 79, y 84 los cuales fueron sembrados en abril y llevados a capacidad de campo en el mes siguiente.

Los ANAVA de la variable Punto de Marchitez Permanente para los grupos 1, 2 y 4 (Anexo C) muestran diferencias significativas para las unidades cartográficas – series de suelo y para los clones, pero no muestran diferencias para la interacción unidad cartográfica – serie de suelo por clon. La tensión de humedad del suelo al (PMP) promedio para los clones del grupo 1 fue 70.54 centibares, para el grupo 2 fue 54.9 cb, y para el grupo 4 fue 60.5. Las diferencias significativas en el grupo 1 se presentan en los clones 24 y 78, mientras que para los suelos ocho unidades presentan diferencias significativas excepto la unidad LGLb – Jurado. Las diferencias significativas para el grupo 2 se presentan en los clones 51 y 94 y en las unidades cartográficas todas presentan diferencias significativas. Las diferencias significativas para el grupo 4 se presentaban en los cuatro de los siete clones, los cuales son 40, 32, 61 y 84 y en las unidades cartográficas todas presentan diferencias significativas. Finalmente en el grupo 3 el ANAVA muestra diferencias significativas para las unidades cartográficas – series de suelo, pero no para los clones y la interacción. Las diferencias significativas en este grupo se dan en las siete unidades excepto VTNa – Bolívar y LGLb - Bolívar.

Los grupos analizados anteriormente son artificiales y no expresan el significado real del estudio, además el hecho de que la interacción unidad cartográfica – serie de suelo por clon no haya sido significativa en ningún grupo, no indica que no se pueda realizar una asignación del clon al sitio, por esta razón se realizó el análisis conjunto del PMP, con el fin de asignar clones a los sitios potenciales de plantación.

6.1.2 Análisis conjunto del PMP

La variable Punto de Marchitez Permanente también fue analizada sin contar los grupos de siembra. El ANAVA (Anexo D) muestra diferencias significativas para las diferentes unidades cartográficas – series de suelo y para los clones. Esto indica que por lo menos una de las medias del PMP de alguno de los clones o de alguna de las unidades cartográficas – series de suelos es diferente a las demás. Las diferencias significativas para la interacción unidad cartográfica – serie de suelo por clon indican

que solo algunos clones son los responsables de la interacción y que estos podrían asignarse a las unidades cartográficas – series de suelo de la zona. La tensión de humedad del suelo al punto de marchitez permanente (PMP) promedio para los 27 clones estudiados de *G. arborea* fue 64.28 centibares (cb), variando desde 48.55 cb, para el clon 60 hasta 90.03 cb, para el clon 24 con una desviación estándar de 34.48.

Tabla 6. Altura promedio, diámetro al cuello de raíz promedio (dcr) y edad de los rametos incluidos en el estudio.

Número del clon	Altura promedio (cm)	dcr raíz promedio (cm)	Edad de los rametos del clon al realizar la siembra (meses)
1	30.44	0.47	4 1/2
15	35.75	0.48	5 1/2
24	29.44	0.44	4
31	37.2	0.49	5
32	38.04	0.51	5
37	36.54	0.54	6
40	39.47	0.46	5
48	38.43	0.51	5 1/2
49	35.02	0.49	4
51	32.46	0.49	4
53	30.4	0.59	4
55	37.4	0.51	5
56	35.53	0.42	6
60	35.76	0.48	5 1/2
61	37.6	0.45	5
62	29.62	0.48	4
64	34.07	0.51	6
66	30.98	0.44	5 1/2
67	28.81	0.48	4
68	39.39	0.48	4 1/2
75	30.95	0.48	6
78	39.33	0.54	4 1/2
79	39.7	0.51	5
84	38	0.47	5
86	30.81	0.46	4
94	31.95	0.49	5 1/2
112	35.29	0.49	5 1/2

Promedio general 34.75

Desviación estándar 3.66

En la Tabla 7 se presentan el número de rametos evaluados por clon, los promedios, las desviaciones estándar y las diferencias significativas de la variable PMP para los 27 clones utilizados en el estudio.

Tabla 7. Número de rametos evaluados por clon, promedios y desviaciones estándar del PMP para 27 clones.

Número del clon	Rametos evaluados	Promedio PMP (centibares)	Desviación estándar	Valor de F para U.C.
1	27	57.70	27.93	1.31 n.s
15	27	65.66	29.01	0.82 n.s
24	27	90.03	38.80	5.01 ¹
31	27	44.14	25.17	0.63 n.s
32	27	59.85	36.53	2.78 ¹
37	27	63.55	37.30	1.70 n.s.
40	27	71.22	38.90	1.24 n.s.
48	27	56.55	31.27	1.09 n.s.
49	27	54.62	33.75	12.70 ¹
51	27	49.37	37.47	6.73 ¹
53	27	75.59	37.60	1.32 n.s.
55	27	59.85	38.24	2.03 n.s.
56	27	76.40	39.49	2.17 ¹
60	27	48.55	26.58	2.12 n.s.
61	21	61.14	38.76	1.84 n.s.
62	27	74.70	34.76	3.35 ¹
64	27	66.14	32.60	1.06 n.s.
66	27	67.51	33.88	3.03 n.s.
67	27	79.62	36.10	2.43 ¹
68	27	60.59	33.59	3.60 ¹
75	24	69.87	36.37	1.69 n.s.
78	27	60.03	41.25	8.16 ¹
79	27	54.66	36.85	3.00 n.s.
84	24	72.91	38.14	1.81 n.s.
86	27	62.92	31.33	2.40 ¹
94	27	78.33	40.66	1.91 n.s.
112	27	54.85	32.68	1.64 n.s.

Promedio general 64.28

Desviación estándar 34.48

U.C: Unidad Cartográfica. n.s: no significativo, ¹ diferencias significativas P < 0.05

Entre tanto la variación del punto de marchitez permanente para las nueve unidades cartográficas – series de suelo fue 53.23 centibares (cb), para LGLb – Jurado hasta 70.57 cb, para VTCa – Nechi, con una desviación estándar de 35.15.

En la Tabla 8 se presentan el número de rametos evaluados por clon, los promedios, las desviaciones estándar y las diferencias significativas de la variable PMP de los clones para las nueve unidades cartográficas – series de suelo evaluadas en el estudio.

Tabla 8. Número de rametos evaluados, promedios y desviaciones estándar del PMP de los clones para las nueve unidades cartográficas – serie de suelos.

Unidad Cartográfica	Serie de suelo	Rametos evaluados	Promedio PMP (centibares)	Desviación estándar	Valor de F para clones
VTNa	Casablanca	81	63.48	36.64	3.07 ¹
VTNa	Bolívar	78	66.94	37.67	3.49 ¹
VTCa	Nechi	78	70.57	31.74	2.58 ¹
LGLb	Jurado	81	53.23	29.48	2.56 ¹
LGLb	El Carmen	78	67.08	33.92	1.18 n.s.
VTCa	Casablanca	81	66.07	34.89	1.42 n.s.
LGLb	Bolívar	81	60.45	37.30	2.24 ¹
VTNa	Casablanca	78	68.71	43.61	3.65 ¹
VTMa	Casablanca	81	62.55	37.15	2.58 ¹

Promedio general 64.28

Desviación estándar 34.48

n.s. no significativo, ¹diferencias significativas.

P < 0.05

En la Figura 7 se muestra la distribución teórica del uso del agua para todas las unidades cartográficas – series de suelo. El cálculo del porcentaje de humedad de agua disponible se hizo con base en el punto de marchitez permanente definido teóricamente, es decir 150 centibares.

En la unidad VTNa - Serie Casablanca – rt, (lote San José 01) ninguno de los tres rametos empleados por clon obtuvo igual respuesta de PMP. Las unidades muestreadas clon - suelo tienen un punto de saturación de máximo 63.4% de humedad (0 centibares), mientras que a capacidad de campo (3 centibares) tienen 50.6 % de humedad, lo que indica que se pierden 12.8 % de agua gravitacional, desde el punto de saturación hasta capacidad de campo. Por lo tanto, el agua aprovechable para cada unidad clon - suelo está entre los rangos desde capacidad de campo hasta el punto de marchitez permanente y el agua restante hace parte de la humedad no aprovechable o agua residual.

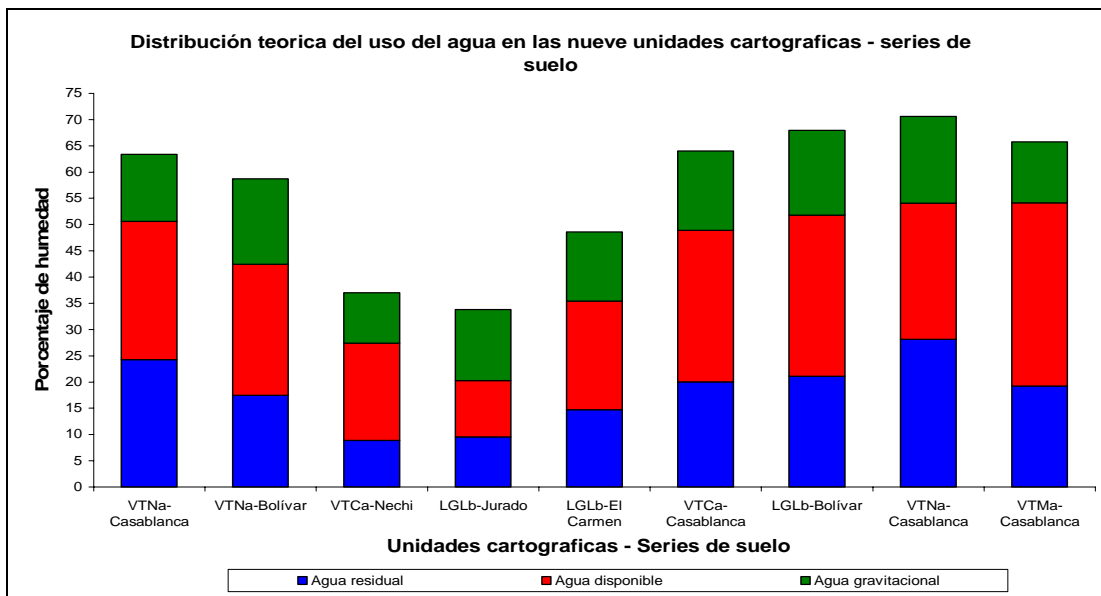


Figura 7. Comparación de la distribución teórica del uso del agua en las nueve unidades cartográficas – series de suelos.

De manera general, los clones que presentaron más bajo registro de PMP, menor cantidad de agua disponible aprovechan y mayor contenido de agua residual dejan. En la Figura 8 se muestra la distribución del uso de agua de los clones que obtuvieron los valores más altos y más bajos de PMP y la distribución teórica hasta 150 centibares para esta unidad cartográfica. El mayor registro de PMP es para el clon 51 con 137 cb y el menor registro es para el clon 84 con 24.33 cb. Los 25 clones

restantes se ubicaron entre 25.67 y 115.33 cb, de PMP. En la Figura 9 se muestran las curvas de retención de humedad y los valores de las tensiones y porcentajes de humedad desde capacidad de campo (CC) hasta el punto de marchitez permanente (PMP) para los clones en esta unidad cartográfica.

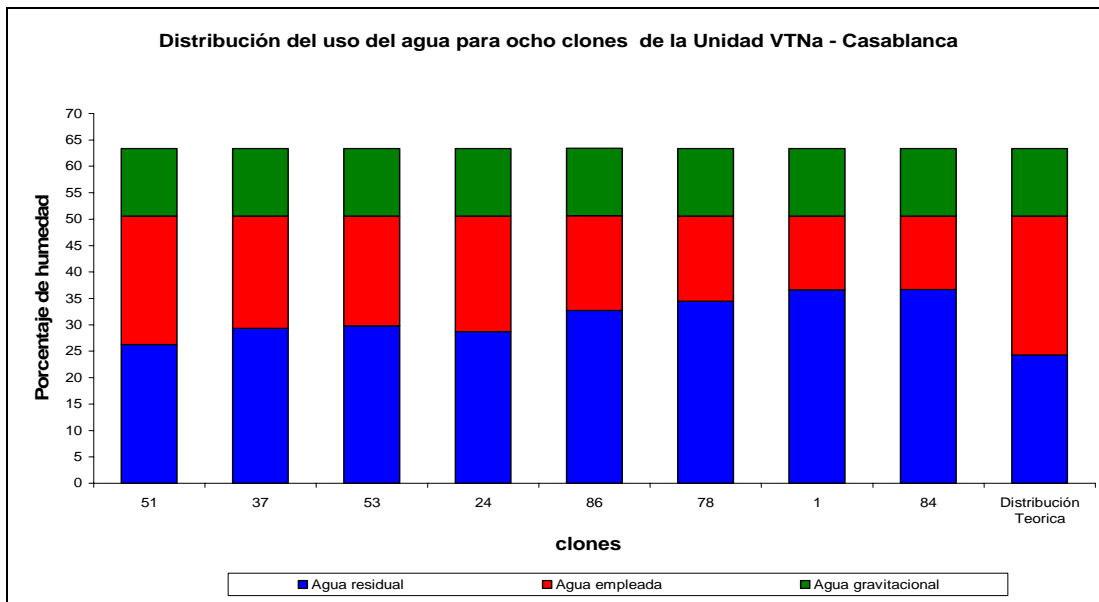


Figura 8. Comparación del agua aprovechada y el agua residual de ocho clones y la distribución teórica en la Unidad VTNa – Casablanca.

En la unidad VTCa – Serie Bolívar (lote Andaluz 17) el clon 84 no obtuvo registro de la variable PMP, además ninguno de los tres rametos empleados por clon obtuvo igual respuesta de esta variable. Las unidades muestreadas clon - suelo tienen un punto de saturación de máximo 58.75 % mientras que a capacidad de campo tienen 42.44 % es decir que se pierden 16.31 % de humedad gravitacional. En la Figura 10 se muestra la distribución del uso de agua de los clones que obtuvieron los valores más altos y más bajos de PMP y la distribución teórica hasta 150 centibares para esta unidad cartográfica.

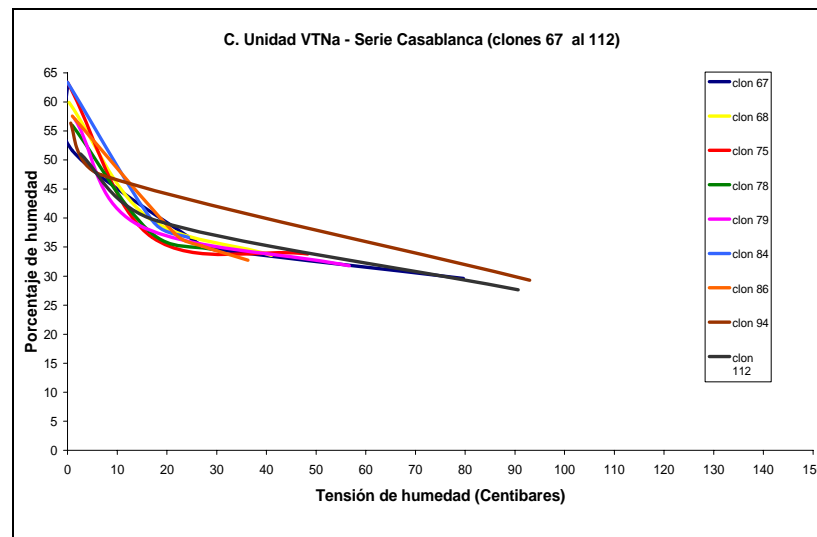
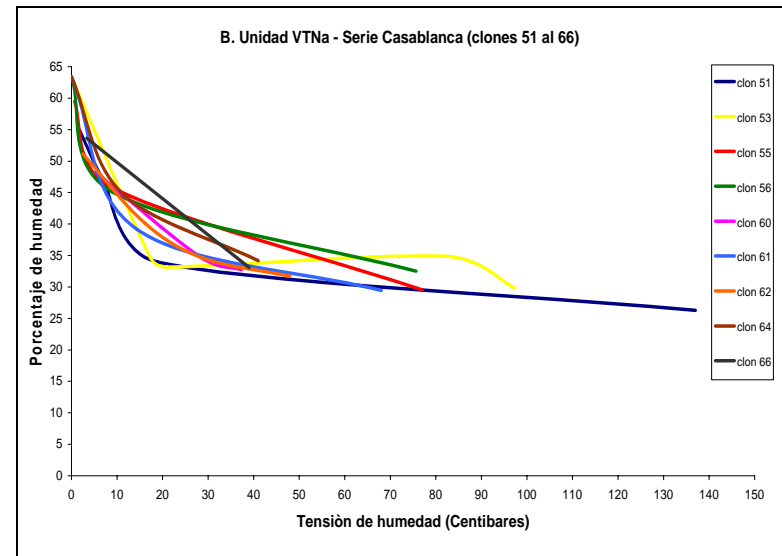
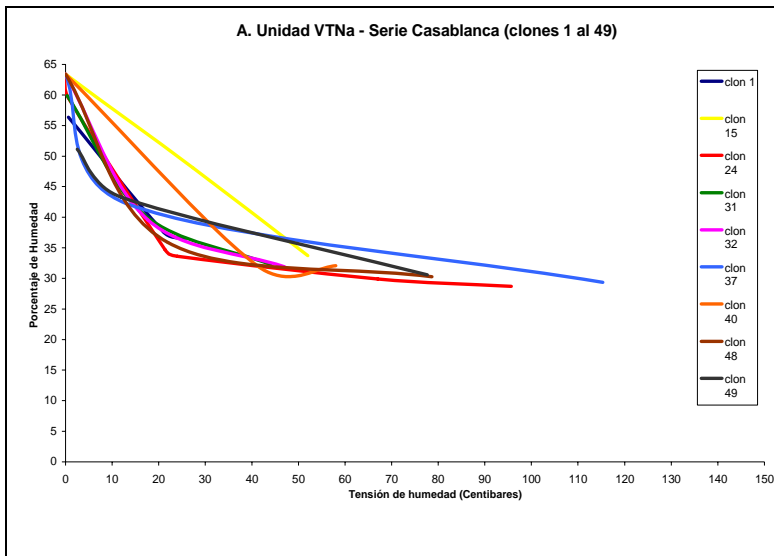


Figura 9. Curvas de retención de la unidad VTNa – Serie Casablanca desde CC hasta PMP.

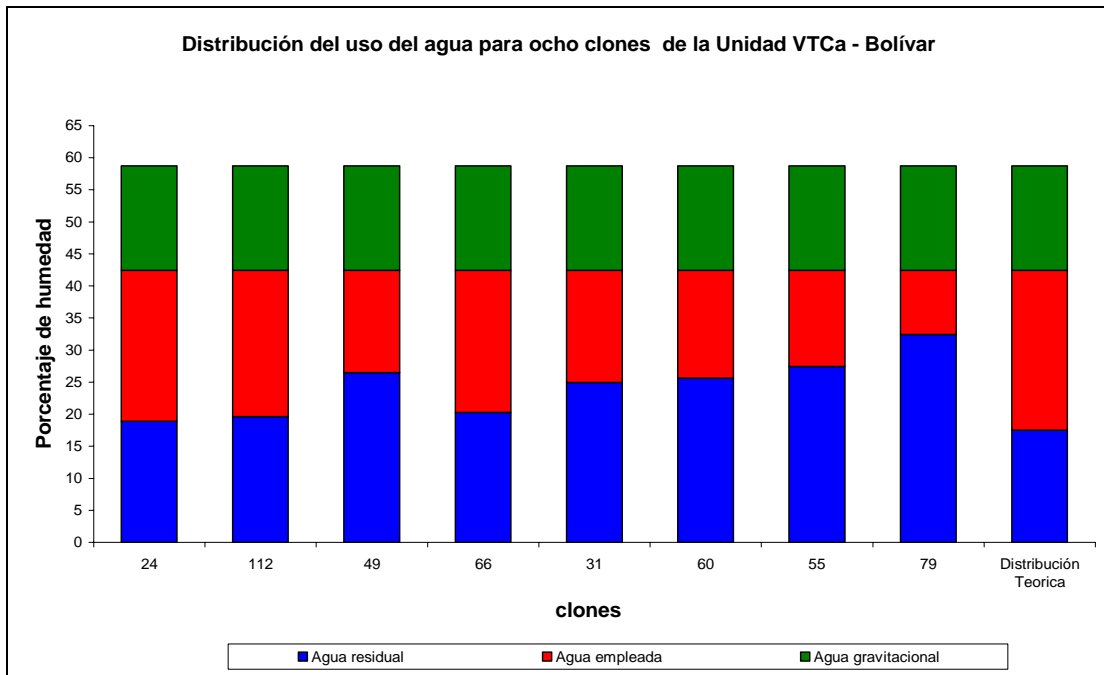


Figura 10. Comparación del agua aprovechada y el agua residual de ocho clones y la distribución teórica en la Unidad VTCa – Bolívar.

En esta unidad los clones 66, 49, 112 y 24 fueron los únicos que lograron sobrepasar 100 centibares de PMP, siendo el mayor valor 129.3 cb. Los restantes 22 clones se ubicaron entre 17.67 y 97 cb, teniendo el clon 79 el menor valor registrado para esta unidad cartográfica.

En la Figura 11 se muestran las curvas de retención de humedad y los valores de las tensiones y porcentajes de humedad desde capacidad de campo (CC) hasta el punto de marchitez permanente (PMP) para los clones en esta unidad cartográfica.

Los clones de la unidad VTCa - Serie Nechi – fp (lote Andaluz 21), tuvieron el PMP promedio más alto registrado en el estudio (Tabla 8), mientras que del clon 61 no se obtuvo registro de PMP. Las unidades muestreadas clon - suelo tienen un punto de saturación de máximo 37 %, mientras que a capacidad de campo tienen 27.43 %, es decir que se pierden 9.57 % de humedad gravitacional.

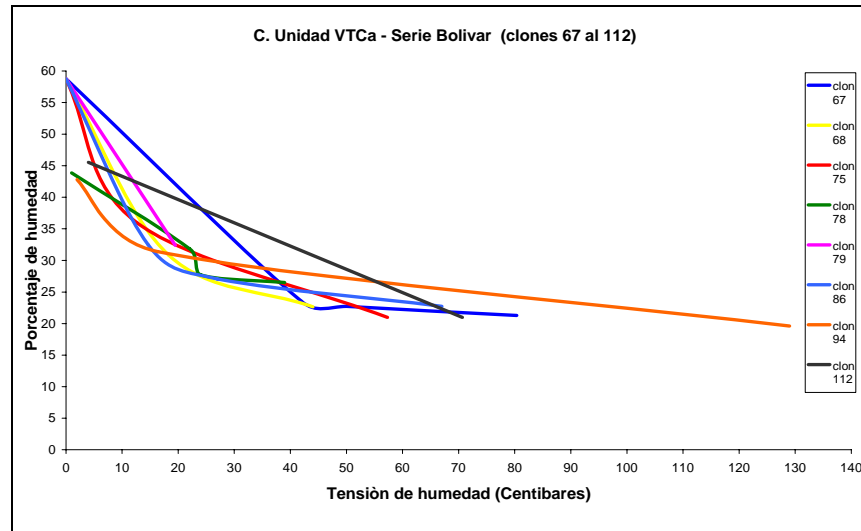
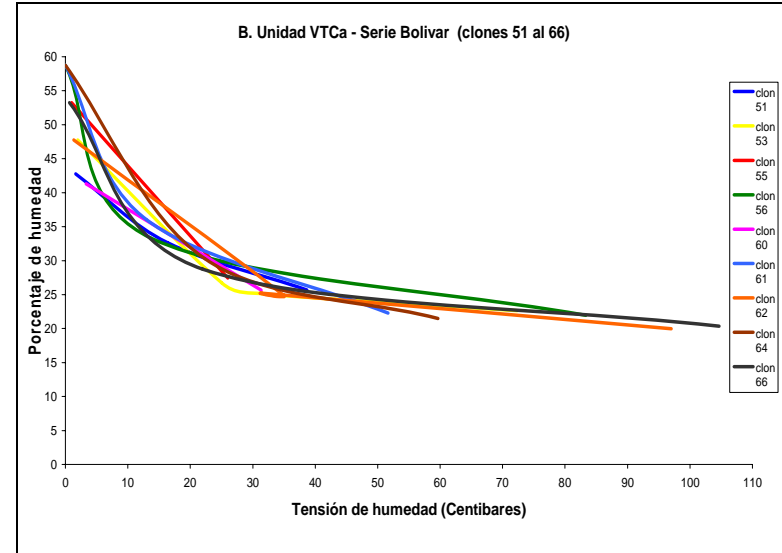
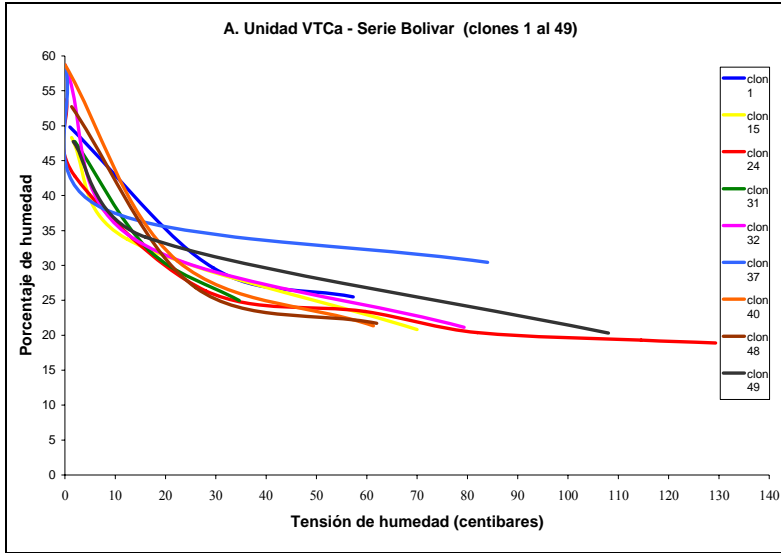


Figura 11. Curvas de retención de la unidad VTCa – Serie Bolívar desde CC hasta PMP.

En la Figura 12 se muestra la distribución del uso de agua de los clones que obtuvieron los valores más altos y más bajos de PMP y la distribución teórica hasta 150 centibares para esta unidad cartográfica.

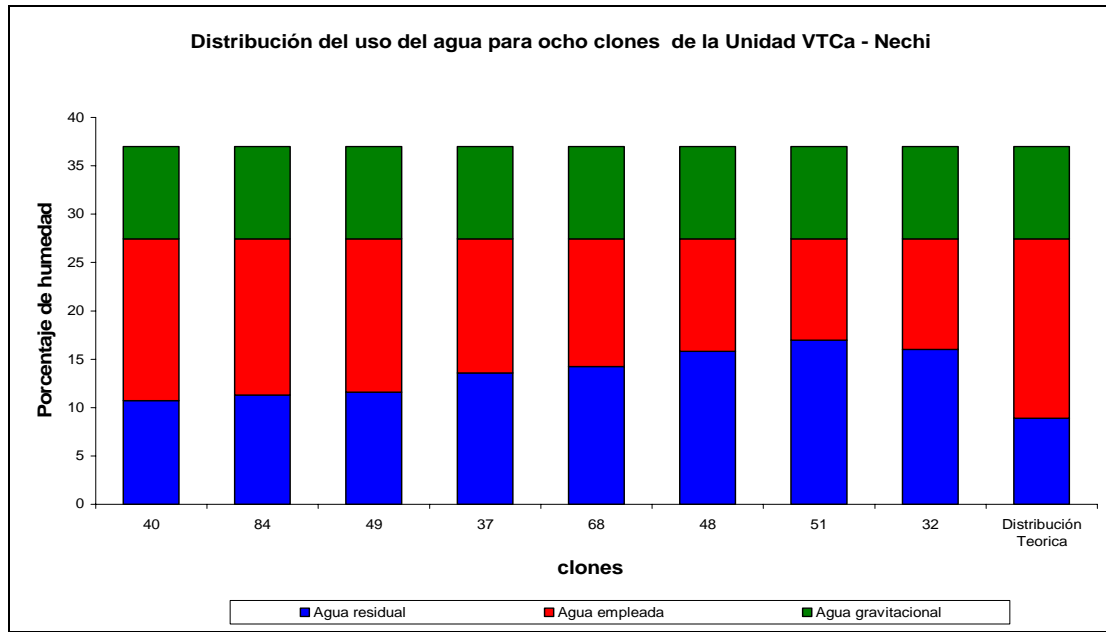


Figura 12. Comparación del agua aprovechada y el agua residual de ocho clones y la distribución teórica en la Unidad VTCa – Nechi.

Los clones 32 y 60 obtuvieron igual respuesta de PMP en cada rameto evaluado, es decir 27 y 61 cb, respectivamente. Los clones 49, 84 y 40 obtuvieron los valores más altos de PMP, correspondientes a 101.67, 109.33 y 121.67 cb, respectivamente. Los 23 clones restantes se ubicaron entre 27 y 95.33 cb, teniendo el clon 32 el valor más bajo registrado para esta unidad cartográfica. En la Figura 13 se muestran las curvas de retención de humedad y los valores de las tensiones y porcentajes de humedad desde capacidad de campo (CC) hasta el punto de marchitez permanente (PMP) para los clones en esta unidad cartográfica.

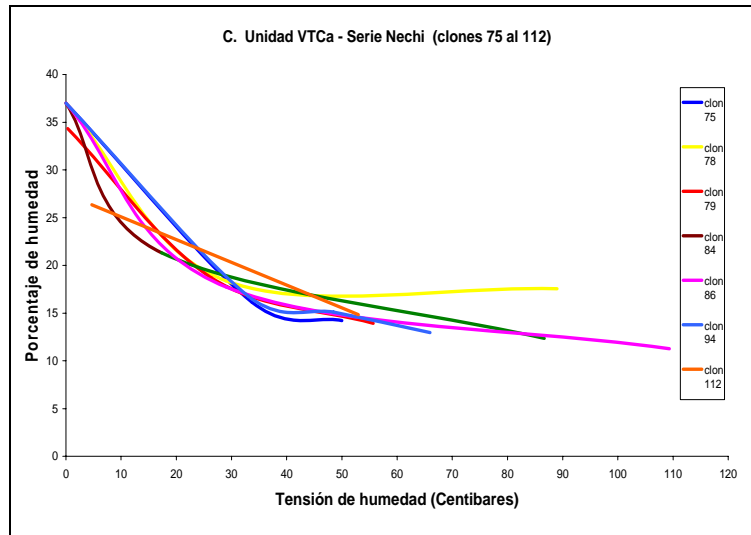
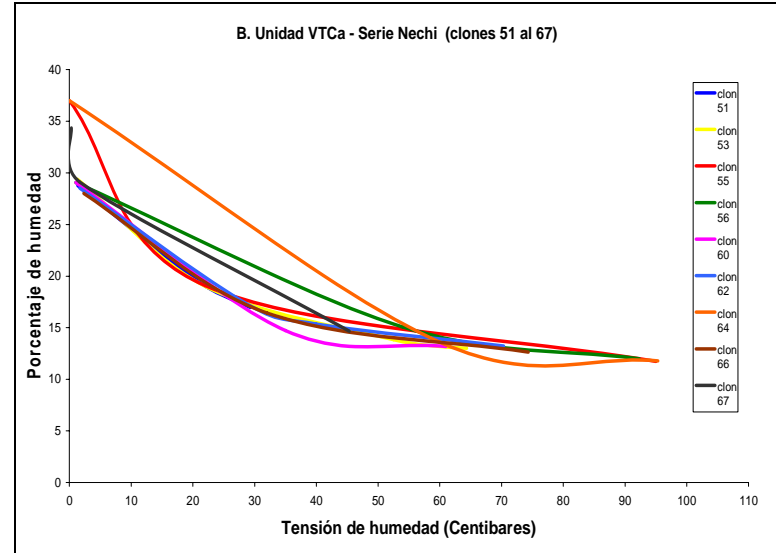
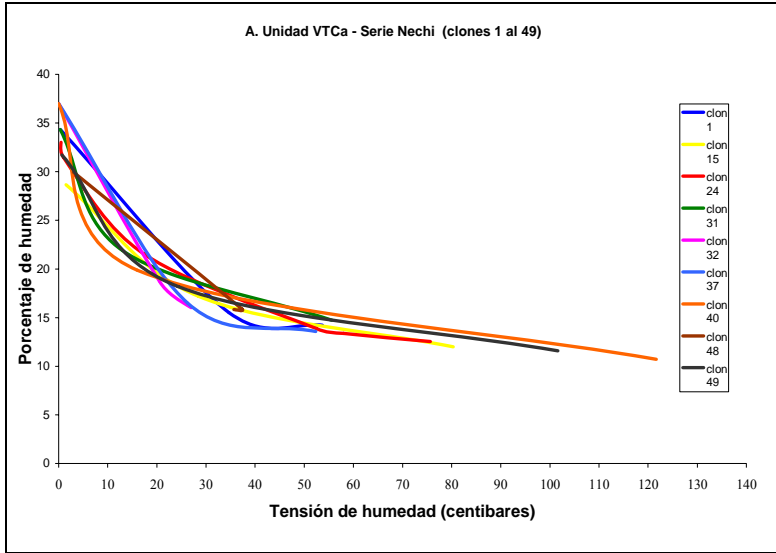


Figura 13. Curvas de retención de la unidad VTCa – Serie Nechi desde CC hasta PMP

En la unidad LGLb - Serie Jurado - up (lote Petate 03), el PMP promedio fue el más bajo registrado en el estudio (Tabla 8), además ninguno de los tres rametos empleados por clon obtuvo igual respuesta de PMP. Las unidades muestreadas clon - suelo tienen un punto de saturación de máximo 33.8 %, mientras que a capacidad de campo tienen 20.25 %, es decir que se pierden 13.55 % de humedad gravitacional.

En la Figura 14 se muestra la distribución del uso de agua de los clones que obtuvieron los valores más altos y más bajos de PMP y la distribución teórica hasta 150 centibares para esta unidad cartográfica. El clon 32 logró sobrepasar los 100 centibares de PMP en esta unidad cartográfica. Los 26 clones restantes se ubicaron entre 26.33 cb, (clon 67) y 92.67 cb, (clon 79). En la Figura 15 se muestran las curvas de retención de humedad y los valores de las tensiones y porcentajes de humedad desde capacidad de campo (CC) hasta el punto de marchitez permanente (PMP) para los clones en esta unidad cartográfica.

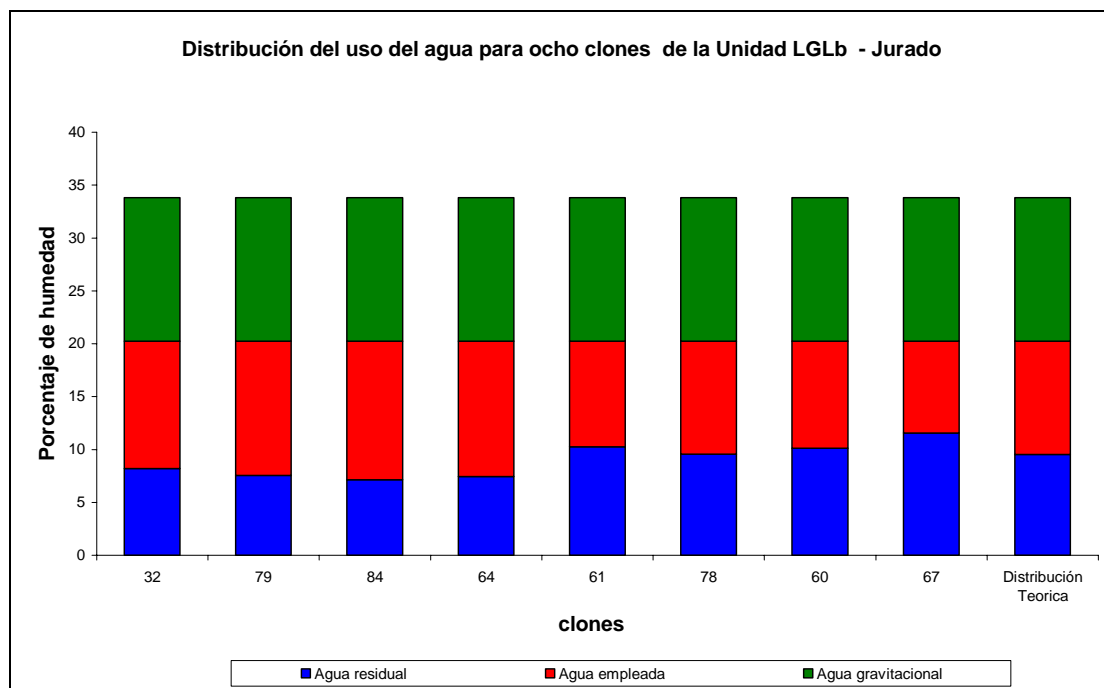


Figura 14. Comparación del agua aprovechada y el agua residual de ocho clones y la distribución teórica en la Unidad LGLb – Jurado.

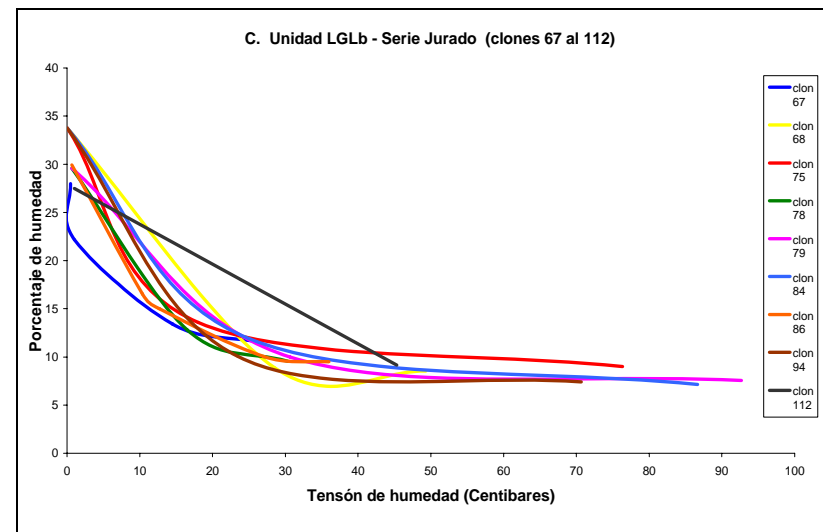
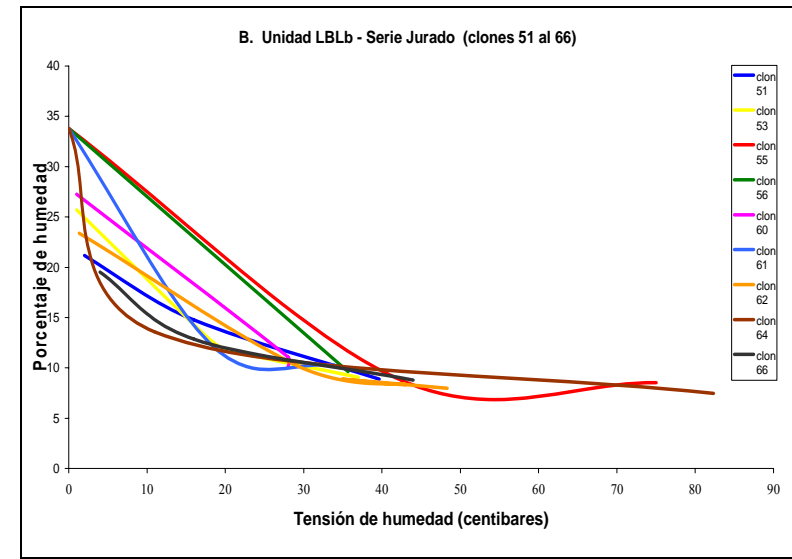
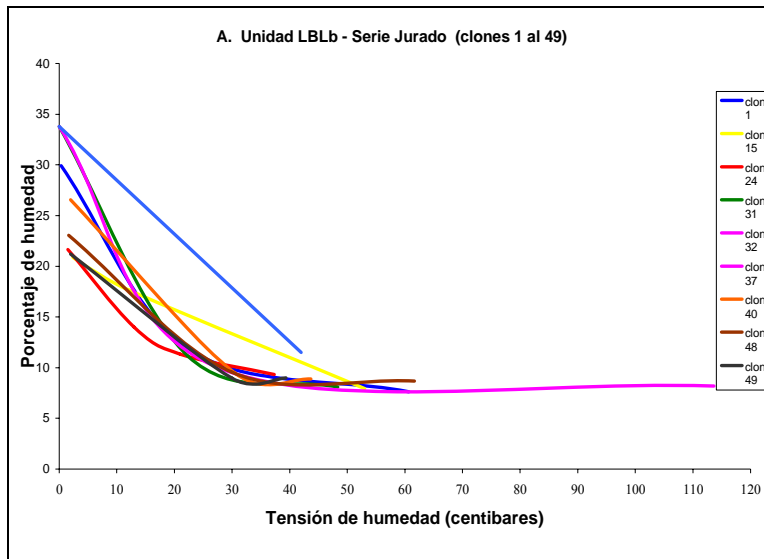


Figura 15. Curvas de retención de la unidad LGLb – Serie Jurado desde CC hasta PMP.

En la unidad LGLb - Serie El Carmen – dn (lote Malicia 01) del clon 75 no se obtuvieron registros de la variable PMP, además ninguno de tres rametos empleados por clon obtuvo igual respuesta para esta variable. Las unidades muestreadas clon - suelo tienen un punto de saturación de máximo 48.6 %, mientras que los clones al punto de capacidad de campo tienen 35.41 %, es decir que se pierden 13.19 % de humedad gravitacional. En la Figura 16 se muestra la distribución del uso de agua de los clones que obtuvieron los valores más altos y más bajos de PMP y la distribución teórica hasta 150 centibares para esta unidad cartográfica.

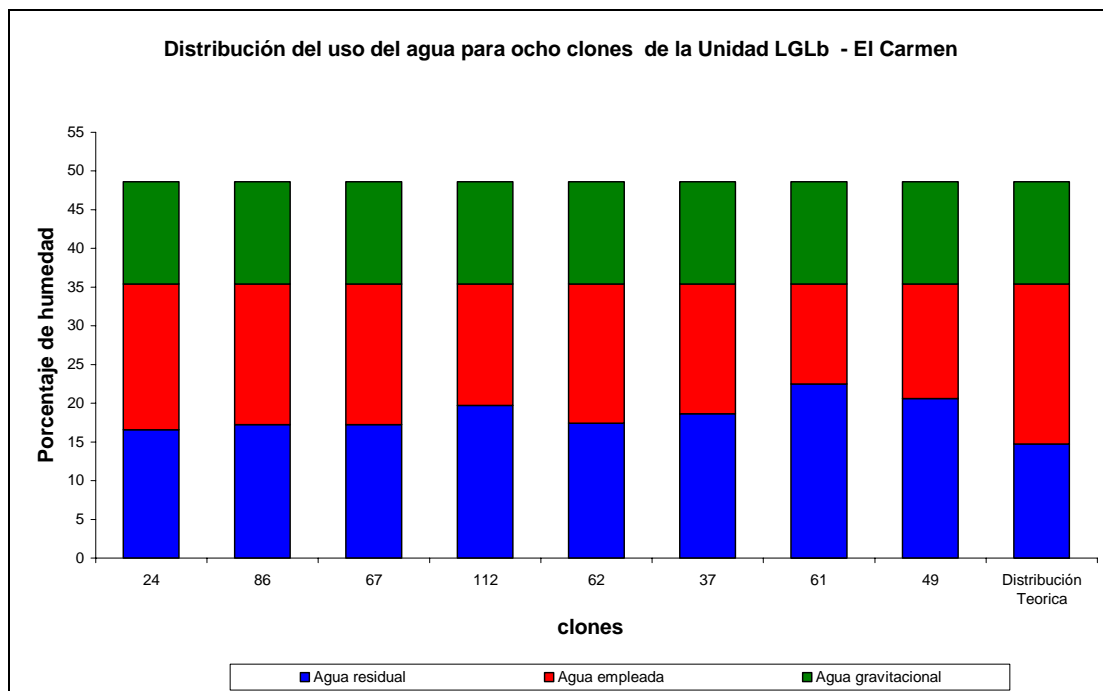


Figura 16. Comparación del agua aprovechada y el agua residual de ocho clones y la distribución teórica en la Unidad LGLb – El Carmen.

Ningún clon superó 100 centibares de PMP, teniendo el clon 49 el menor valor registrado con 21.33 cb, y el mayor valor el clon 24 con 99.67 cb, para. En la Figura 17 se muestran las curvas de retención de humedad y los valores de las tensiones y porcentajes de humedad desde el punto de capacidad de campo hasta el punto de marchitez permanente para los clones en esta unidad cartográfica.

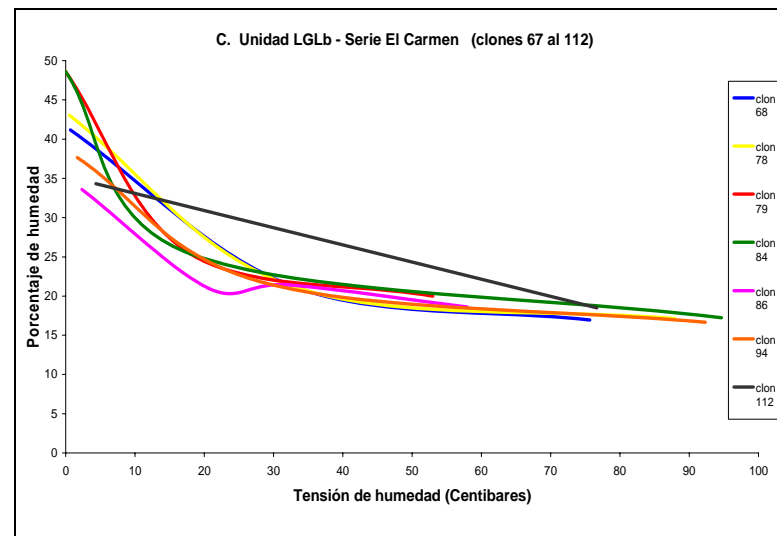
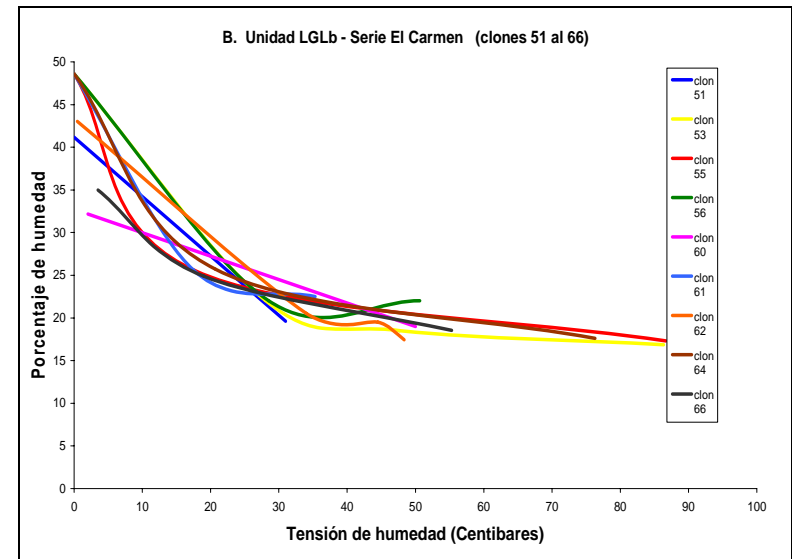
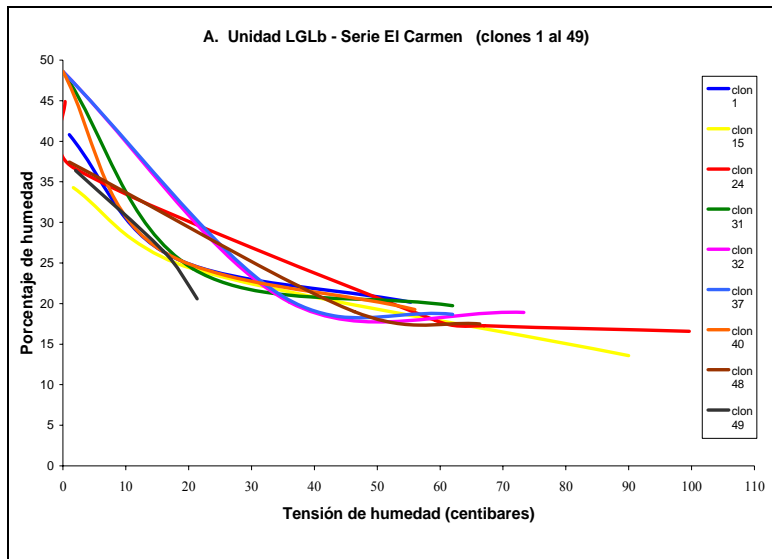


Figura 17. Curvas de retención de la unidad LGLb – Serie El Carmen desde CC hasta PMP.

La unidad VTCa (lote Papayo 01) dadas sus características físico y químicas posible asignarla en la serie Casablanca. Ninguno de los tres rametos empleados por clon obtuvo igual respuesta de PMP. Las unidades muestreadas clon - suelo tienen un punto de saturación de máximo 64.04 %, mientras que a capacidad de campo tienen 48.9 %, es decir que se pierden 15.16 % de humedad gravitacional. En la Figura 18 se muestra la distribución del uso de agua de los clones que obtuvieron los valores más altos y más bajos de PMP y la distribución teórica hasta 150 centibares para esta unidad cartográfica.

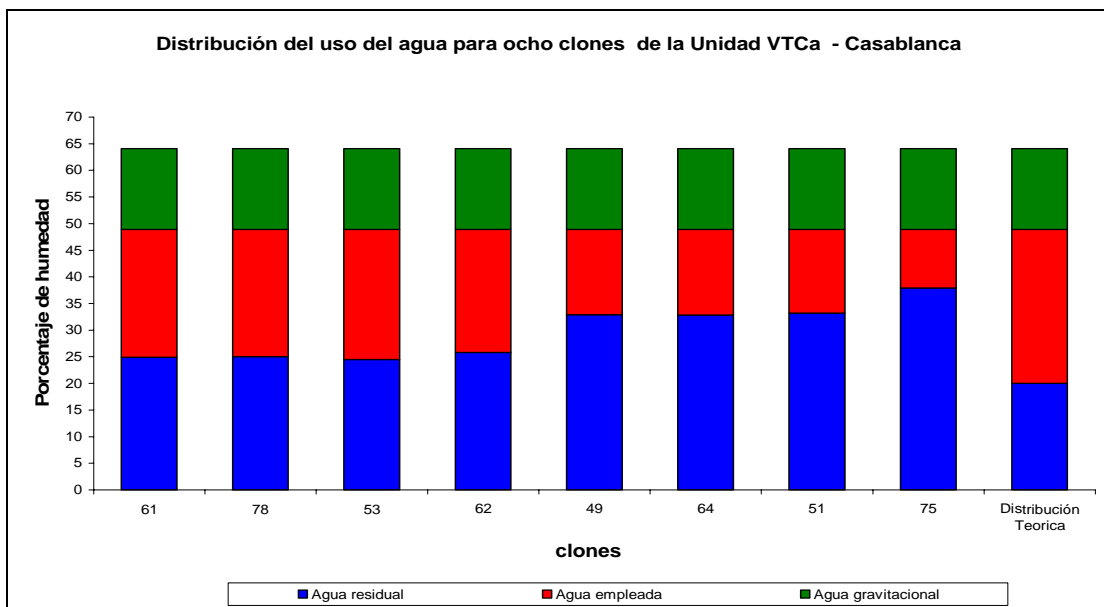


Figura 18. Comparación del agua aprovechada y el agua residual de ocho clones y la distribución teórica en la Unidad VTCa – Casablanca.

Los clones 53, 78 y 61 fueron los únicos en sobrepasar 100 centibares de PMP, teniendo este último clon el más alto valor en esta unidad cartográfica-serie de suelo con 113 cb,. Los restantes 24 clones se ubicaron entre 29 y 96.67 cb,. En la Figura 19 se muestran las curvas de retención de humedad y los valores de las tensiones y porcentajes de humedad desde el punto de capacidad de campo hasta el punto de marchitez permanente los clones en esta unidad cartográfica.

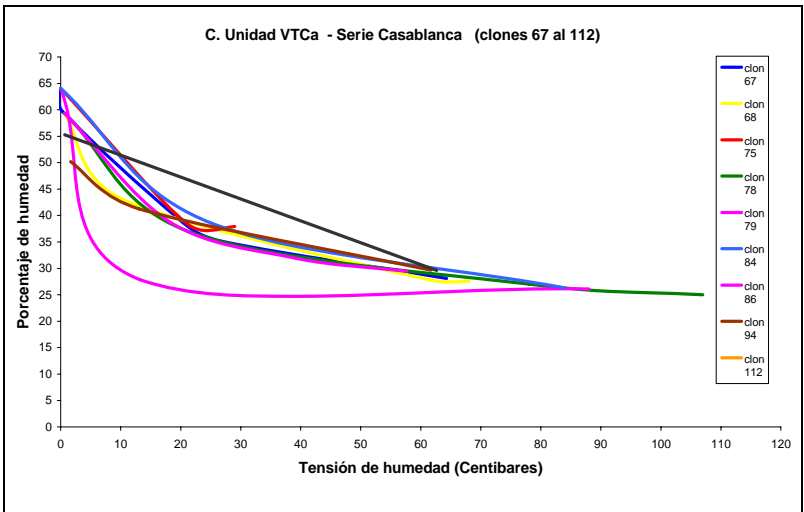
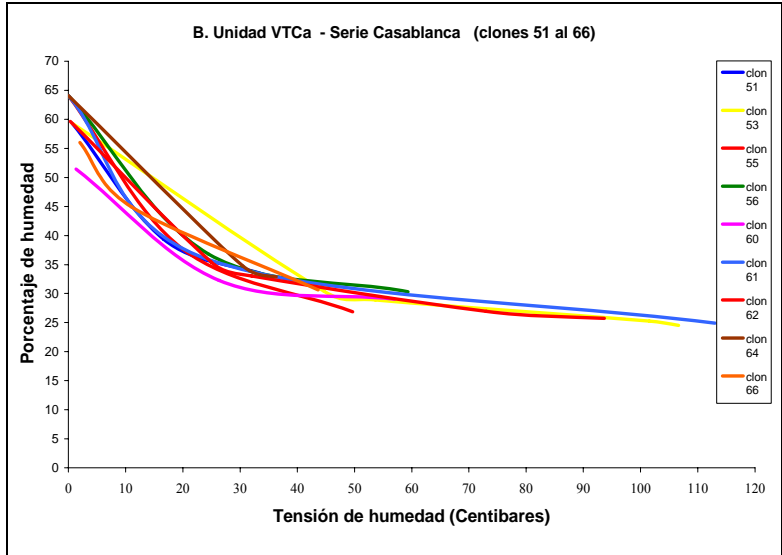
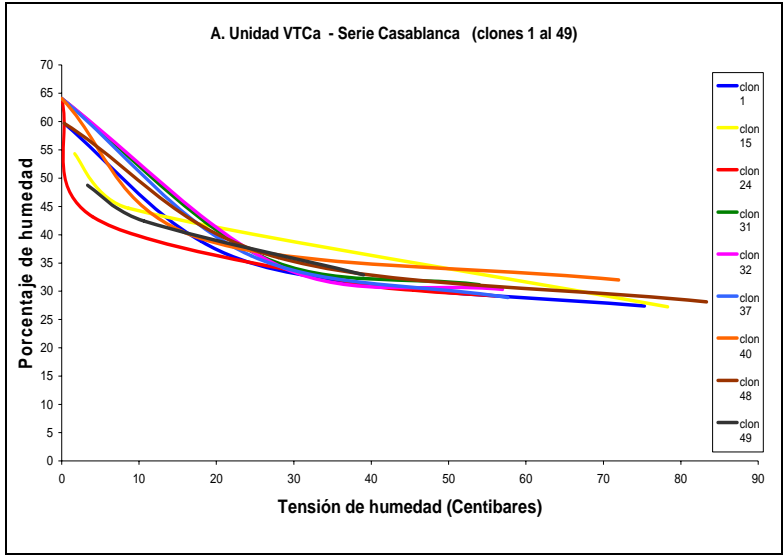


Figura 19. Curvas de retención de la unidad VTCa – Serie Casablanca desde CC hasta PMP.

En la unidad LGLb – Serie Bolívar – rt (lote Petate 2a), el clon 32 obtuvo en todos sus rametos el valor de 27 cb, mientras que, los clones 66 y 78 obtuvieron los mayores valores de PMP, correspondientes a 114.33 cb, y 127.67cb, respectivamente. La variación de los restantes clones fue entre 12.33 cb, para el clon 55, el valor más bajo en todo el estudio y 93 cb, para el clon 68. Las unidades muestreadas clon - suelo tienen un punto de saturación de máximo 67.97 %, mientras que a capacidad de campo s tienen 51.78 %, es decir que se pierden 16.19 % de humedad gravitacional.

En la Figura 20 se muestra la distribución del uso de agua de los clones que obtuvieron los valores más altos y más bajos de PMP y la distribución teórica hasta 150 centibares para esta unidad cartográfica. En la Figura 21 se muestran las curvas de retención de humedad y los valores de las tensiones y porcentajes de humedad desde el punto de capacidad de campo hasta el punto de marchitez permanente los clones en esta unidad cartográfica.

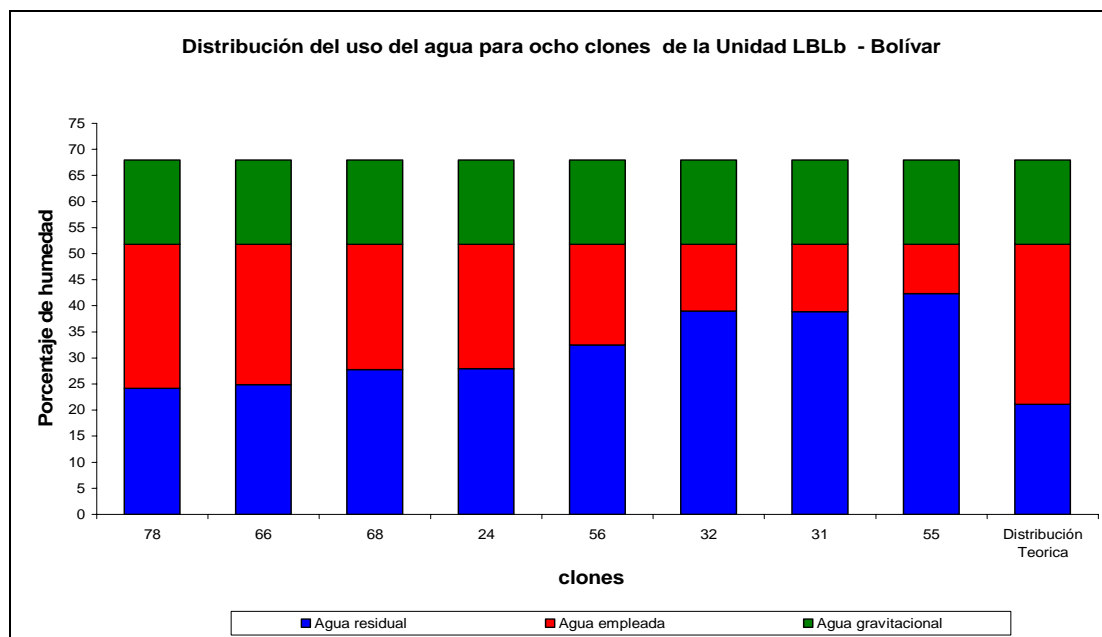


Figura 20. Comparación del agua aprovechada y el agua residual de ocho clones y la distribución teórica la Unidad LGLb - Bolívar.

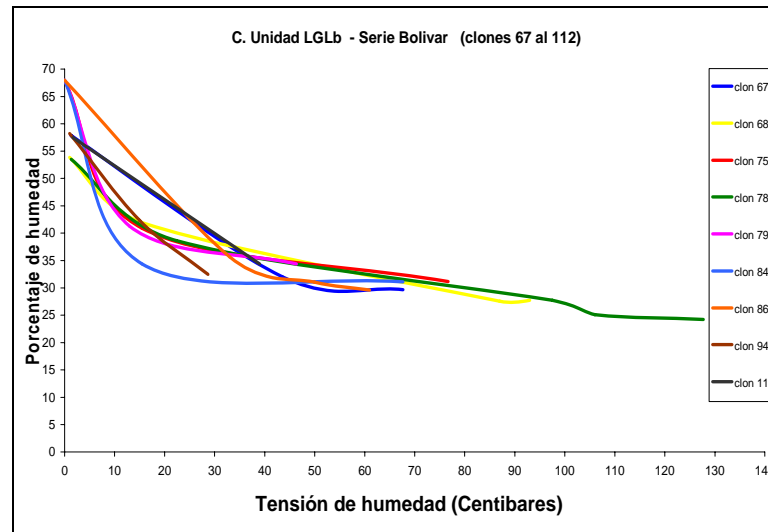
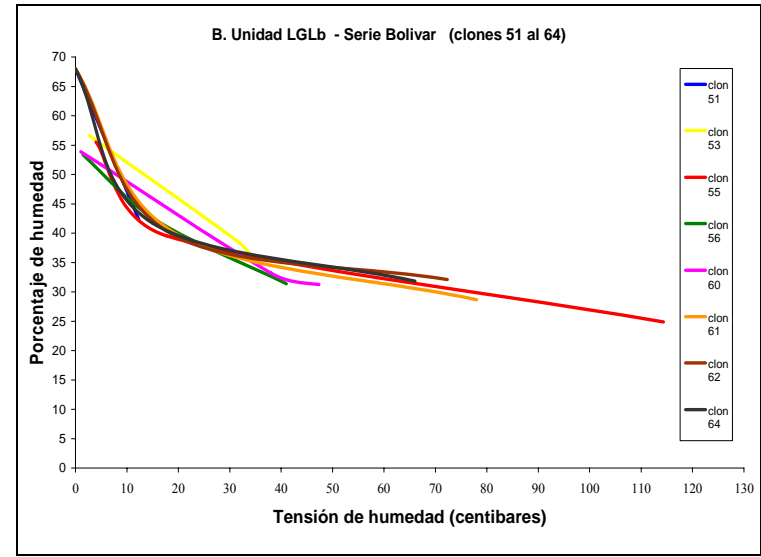
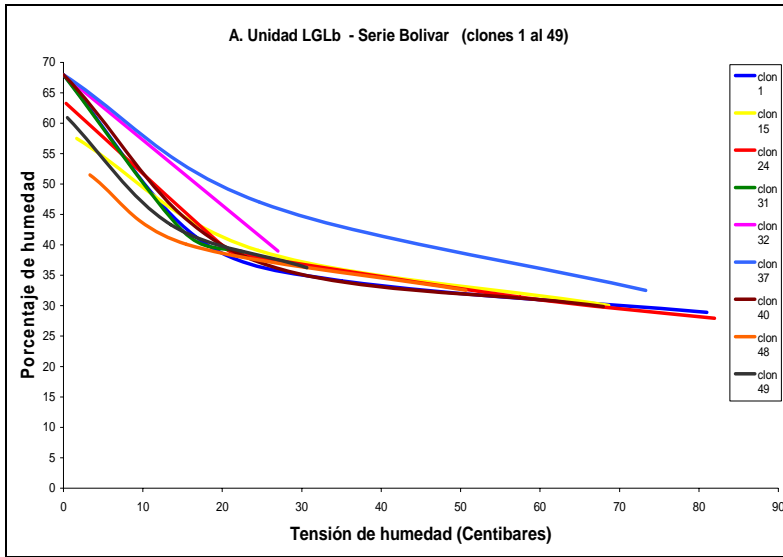


Figura 21. Curvas de retención de la unidad LGLb - Serie Bolívar desde CC hasta PMP.

La unidad VTNa (lote Totumito 04), dadas su propiedades físico y químicas es posible asignarla a la serie Casablanca, además en esta unidad para el clon 61 no se obtuvo el registro de la variable PMP. Las unidades muestreadas clon – suelo tienen un punto de saturación de máximo 70.57 %, mientras que a capacidad de campo tienen 54.1 %, es decir que se pierden 16.47 % de humeada gravitacional. En la Figura 22 se muestra la distribución del uso de agua de los clones que obtuvieron los valores más altos y más bajos de PMP y la distribución teórica hasta 150 centibares para esta unidad cartográfica.

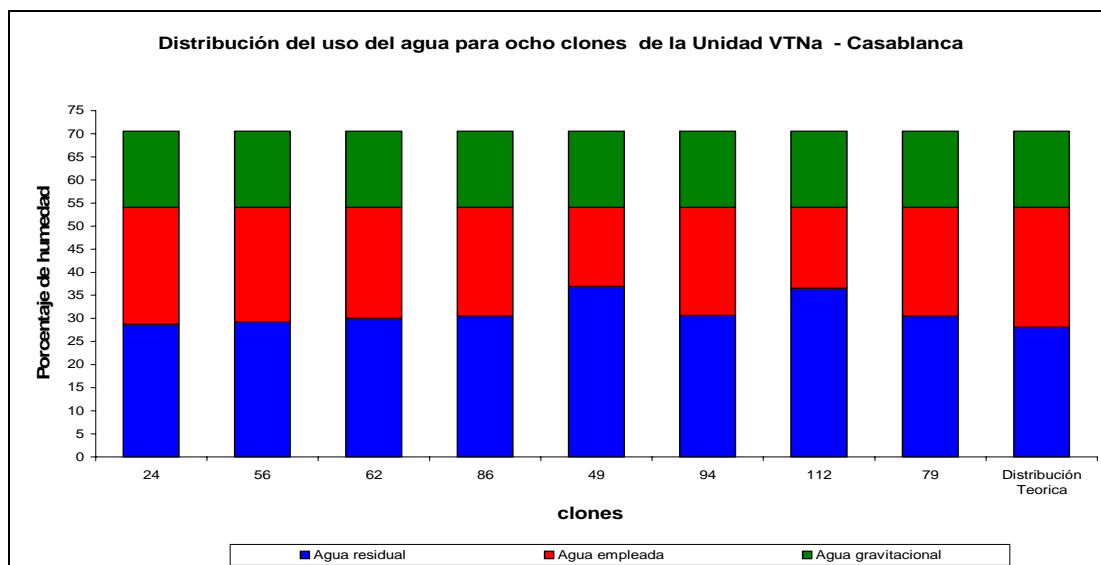


Figura 22. Comparación del agua aprovechada y el agua residual de nueve clones en la Unidad VTNa - Casablanca.

Ninguno de tres rametos empleados por clon obtuvo igual respuesta de PMP, pero el clon 64 tuvo la mayor variación del estudio entre sus rametos (Anexo E). Siete clones sobrepasaron los cien centibares de tensión, destacándose el clon 24 que registro 141.33 cb, el valor más alto para todo el estudio. Los restantes 19 clones obtuvieron una respuesta al PMP entre 25 y 99.67 cb,. En la Figura 23 se muestran las curvas de retención de humedad y los valores de las tensiones y porcentajes de humedad desde CC hasta el PMP.

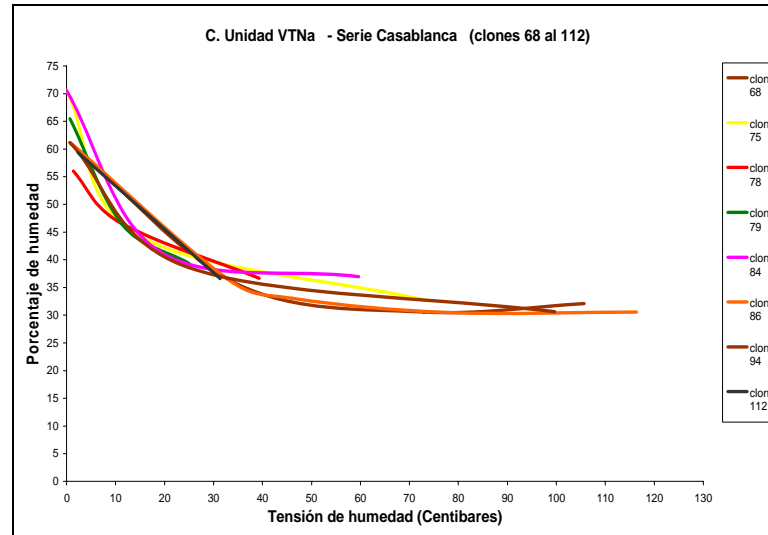
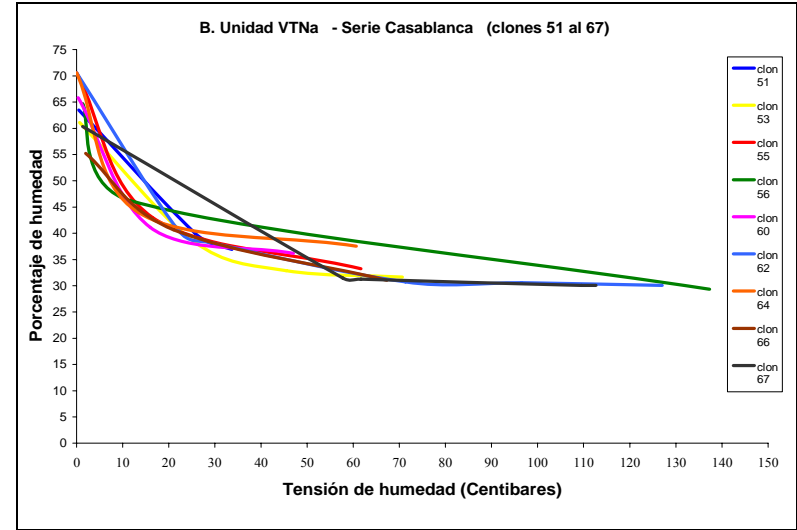
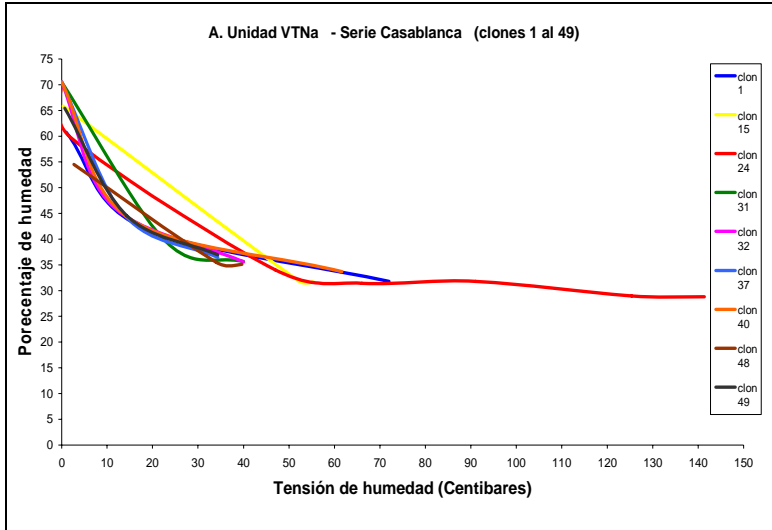


Figura 23. Curvas de retención de la unidad VTNa - Serie Casablanca desde CC hasta PMP.

La unidad VTMa (lote Modelo 14), dadas las propiedades físico y químicas es posible asignarla en la serie Casablanca. Las unidades muestreadas clon - suelo tienen un punto de saturación de máximo 65.78 %, mientras que a capacidad de campo tienen 54.12 %, es decir que se pierden 11.66 % gravitacional por 100 gr, de suelo. En la Figura 24 se muestra la distribución del uso de agua de los clones que obtuvieron los valores más altos y más bajos de PMP y la distribución teórica hasta 150 centibares para esta unidad cartográfica

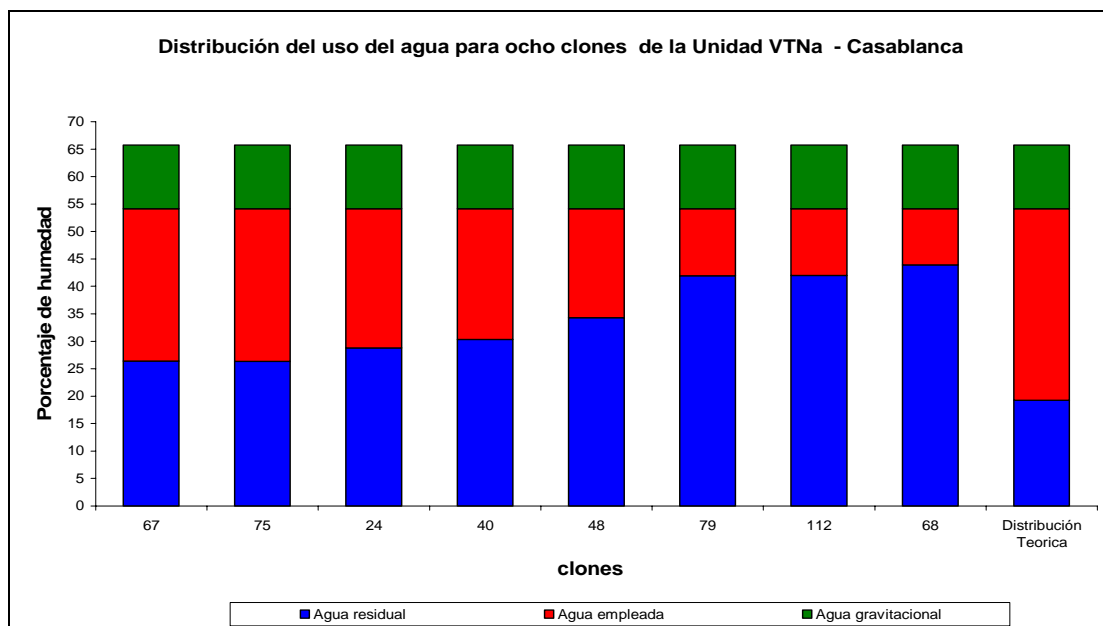


Figura 24. Comparación del agua aprovechada y el agua residual de nueve clones en la Unidad VTMa - Casablanca.

El clon 51 registro el mismo valor en cada uno de sus rametos. Los clones con los valores más altos de PMP fueron el 75 y 67 con 109cb, y 116 cb, respectivamente. Los restantes 25 clones registraron un PMP entre 18.67 y 99 cb, teniendo el clon 68 el valor más bajo en esta unidad cartográfica. En la Figura 25 se muestran las curvas de retención de humedad y los valores de las tensiones y porcentajes de humedad desde el punto de capacidad de campo hasta el punto de marchitez permanente.

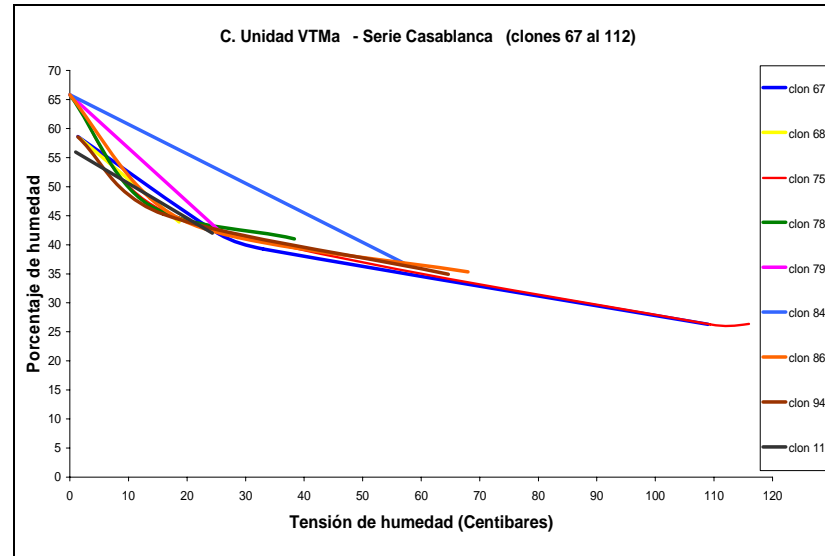
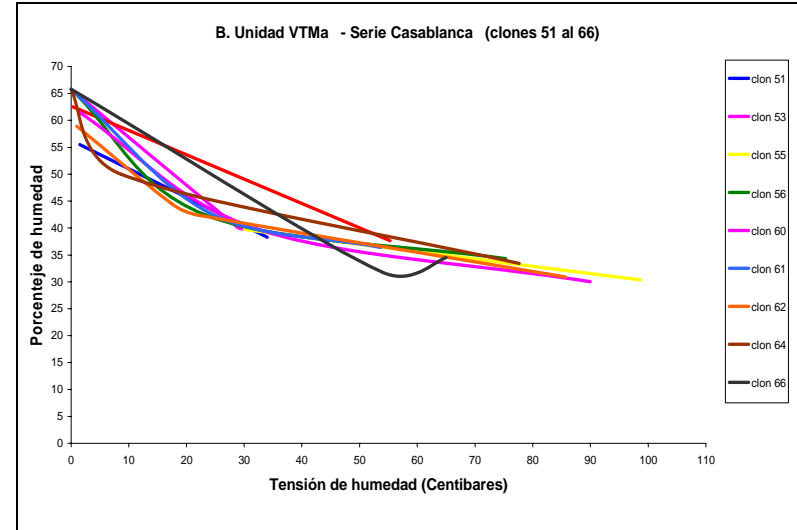
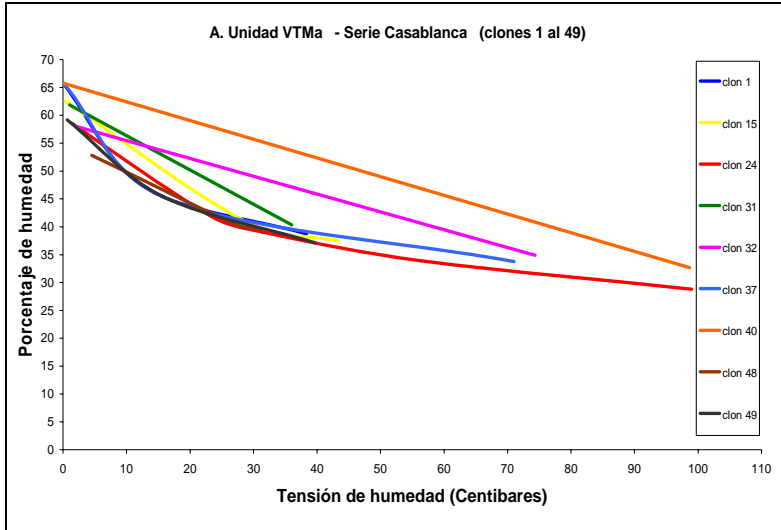


Figura 25. Curvas de retención de la unidad VTMa - Serie Casablanca desde CC hasta PMP.

Los resultados del punto de marchitez permanente para los 239 tratamientos evaluados presentan una variación que va desde los 12.33 centibares (cb) hasta 141.33 cb. El valor del PMP de cada tratamiento se obtuvo a partir del promedio de los tres rametos (repeticiones) que lo conformaban. Los resultados del punto de marchitez permanente para los rametos presentan la mayor variación del estudio y van desde 10 centibares (cb) hasta 178 cb, (Anexo E).

Los resultados anteriormente descritos indican que el punto de marchitez permanente de clones de *G. arborea* no alcanzó 150 centibares el PMP definido teóricamente para las plantas. Según Taiz & Zeiger (2002), a este punto la tensión de humedad del suelo o el potencial hídrico del suelo (ψ_w) es más negativo y las plantas no recobran turgencia, si toda el agua se ha perdido por transpiración. Esto significa que el potencial hídrico del suelo es menor o igual al potencial osmótico de la planta (ψ_s). Debido a que el potencial osmótico de la planta varía entre las especies, el punto de marchitez permanente es una característica propia de *G. arborea*, por lo menos para rametos entre cinco y nueve meses de edad.

Lambers *et al.* (1998) indican que las diferentes especies arbóreas o herbáceas difieren en sus puntos de marchitez permanente entre los 100 hasta 800 centibares de tensión; en este estudio únicamente el 10% de los tratamientos, es decir 24 de los 239 se ubicaron en este rango. Otros resultados también indican que el punto de marchitez permanente es una característica propia de la planta, por ejemplo Mohammadian *et al.* (2005) encontraron que en varios genotipos de remolacha el PMP de las plantas está entre 48 y 80 cb; igualmente Veenedaal *et al.* (1995) describen que el 3% de la mortalidad de las plántulas de *Terminalia superba* y *Entandrophragma utile* se presenta entre 3 y 100 cb, de PMP.

El hecho de que los clones no hayan alcanzado 150 centibares de PMP se explicaría por las características de los suelos donde se desarrollaron los clones, es decir el punto de marchitez permanente es una característica de la planta cuya expresión esta

condicionada por las características del suelo. Si bien la disponibilidad de agua en cada suelo es característica de las propiedades físicas, especialmente del contenido de arcillas (Tabla 9), algunos de los clones que tienen PMP menos negativos posiblemente no expresan sus respuestas fisiológicas para aprovechar el agua disponible teóricamente hasta 150 centibares. Posiblemente influya el alto porcentaje de agua residual, así como la pérdida de humedad gravitacional que según afirma Landon (1984) se deben a los fenómenos de aireación, drenaje rápido e infiltración, que son las funciones dominantes de los poros del suelo.

Tabla 9. Granulometría y clases texturales de las nueve unidades cartográficas – serie de suelo

Unidad Cartográfica	Lote	Serie de suelo	Granulometría			Clase textural
			Arena %	Limo %	Arcilla %	
VTNa	San José 01	Casablanca	1.3	23.6	75.1	Arcilloso
VTNa	Andaluz 17	Bolívar	15.7	29.5	54.8	Arcilloso
VTCa	Andaluz 21	Nechi	59	14.4	26.7	Franco arcillo arenoso
LGLb	Petate 03	Jurado	75.8	12.1	12.1	Franco arenoso
LGLb	Malicia 01	El Carmen	38	22.7	39.3	Franco arcilloso
VTCa	Papayo 01	Casablanca	6.9	31.8	61.4	Arcilloso
LGLb	Petate 02	Bolívar	10.4	29.9	59.8	Arcilloso
VTNa	Totumito 04	Casablanca	5.9	32.1	62	Arcilloso
VTMa	Modelo 14	Casablanca	7.6	27.9	64.4	Arcilloso

Özdemir *et al.* (2005) encontraron correlaciones positivas de 0.79 entre el contenido de arcilla y el Punto de Marchitez Permanente, en este estudio la correlación entre el contenido de arcillas y el promedio del PMP por unidad cartográfica serie de suelo es de 0.76 (Figura 26). Aunque la correlación es alta, existe bastante variación del PMP. Por lo tanto el agua empleada por parte de los clones en todos los suelos es diferente y menor a la disponible teóricamente, posiblemente atribuida a diferencias

fisonómicas y fisiológicas en la distribución de raíces de los clones (Figura 27). Según Barlow (1994) esto se debe al efecto de procesos endógenos particulares a nivel de señalización celular, los cuales se intentan explicar y medir en términos evolutivos de competencia y determinación celular.

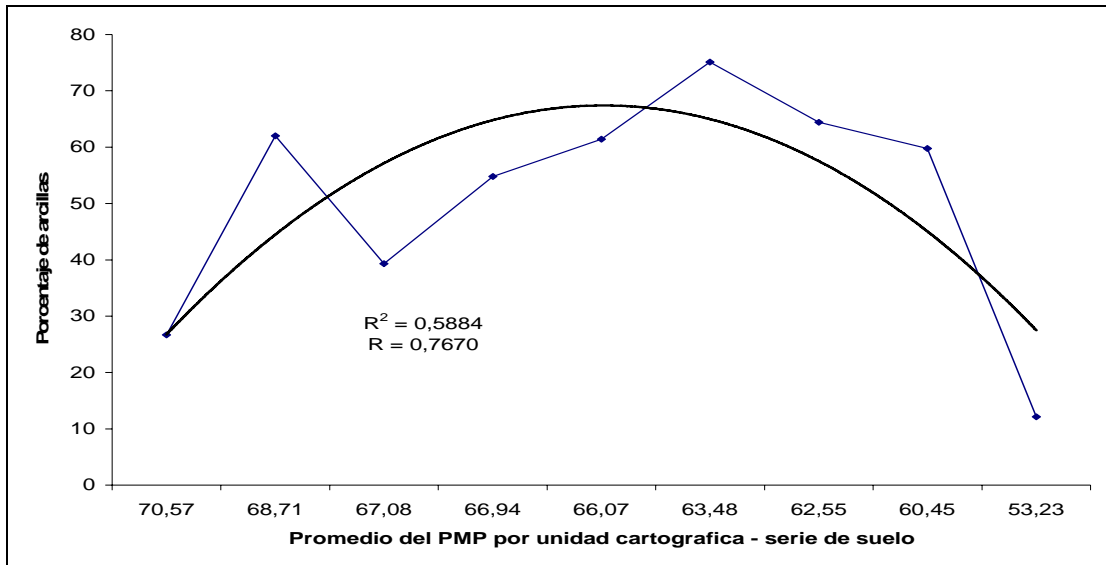


Figura 26. Correlación entre el contenido de arcillas y el promedio del PMP por unidad cartográfica serie de suelo



Figura 27. Colonización de raíces del clon 84, repetición 3 sembrado en el suelo VTCa – Nechi con un PMP de 140 cb,.

Aunque las relaciones de las bases del complejo de cambio son ideales, es posible que la baja concentración de Potasio (Tabla 10) en todos los suelos haya afectado la respuesta del PMP para los clones, ya que este elemento juega un papel importante en la regulación del potencial osmótico de la planta y en la activación de enzimas que involucran la respiración y fotosíntesis; su deficiencia origina clorosis marginal (Figura 28) pérdida de turgencia y plasmólisis a las hojas. Según Taiz & Zeiger (2002) las células plasmolizadas no están en condiciones óptimas para continuar con el ciclo celular normal y concluir la mitosis.



Figura 28. Presencia de clorosis en las hojas del clon 37, repetición 1a 13 cb, de tensión.

La amplia variación del PMP de los rametos y los clones de *G. arborea* en las diferentes Unidades cartográficas – Series de suelo, se observa también en la variación de las curvas de retención de humedad que según Pellegrino *et al.* (2004) se debe a que es habilidad de cada rameto la extracción eficiente de agua en cada suelo. Posiblemente el hecho de que algunos clones se aproximen a 150 centibares de PMP se deba a que *G. arborea* es una planta C_3 , hecho por el cual afirman Azcón – Bieto & Talón (2001), poseen tasas de fotosíntesis y eficiencia en el uso del agua baja, en comparación con las plantas C_4 o CAM. Según Azcón – Bieto & Talón (2001), la eficiencia en el uso de agua es una medida de la efectividad de los estomas en maximizar la fotosíntesis reduciendo, al mismo tiempo, la pérdida de agua, por lo que

el mecanismo de asimilación del dióxido de carbono alrededor de la rubisco en el mesofilo de las plantas C₄ aumenta la eficiencia de la fotosíntesis y genera mayor eficiencia en el uso del agua por parte.

Con respecto a las curvas de retención de humedad, de acuerdo con Wang *et al.* (2004) la forma esta en función del tipo de suelo y depende del tamaño y la distribución de los poros del suelo. La diversidad de formas se debe a la variación en el uso del agua disponible por parte de los clones en los diferentes suelos.

De acuerdo con Taiz & Zeiger (2002), diferentes áreas de la raíz absorben diferentes iones minerales, aunque el potasio se asimila en toda la superficie de la raíz, es posible que la absorción de este elemento sea mejor en algunos sistemas radicales de *G. arborea*, que colonizaron todo el sustrato, ya que las tasas mas altas de absorción de nutrientes se encuentran en la zona apical de las raíces, contrariamente a los rametos que tienen una mala colonización del sustrato, por lo que mueren a tensiones más negativas. Es posible que además de las diferencias fisiológicas, las raíces de los rametos no se hayan desarrollado bien en el sustrato, debido al bajo porcentaje de porosidad y a que la aireación del suelo sea insuficiente por el alto porcentaje de microporos (27% - 51%), lo que genera un PMP mas negativo (Tabla 11). Algunos de los clones que tienen PMP más negativos es posible que hayan expresado estrategias fisiológicas que los hacen más resistentes a la sequía en estas condiciones de suelo. Según Tyree *et al.* (2003) entre las estrategias se cuentan el continuar con el transporte de agua a través del continuo suelo – planta - atmósfera, intercambio gaseoso, la sobrevivencia de las células, y en el incremento de la resistencia a la embolia del xilema.

Las unidades cartográficas VTNa – Casablanca, VTNa – Bolívar y LGLb – Bolívar y posiblemente las unidades VTCa, VTNa y VTMa dadas sus características texturales, están constituidas por montmorillonita, la cual, según Dorronsoso (2005), tiene la particularidad de expandirse a saturación y presentar una marcada disminución de volumen por el secado. Este fenómeno posiblemente afecte el crecimiento de raíces

de *G. arborea* y cause su baja penetración en el suelo como consecuencia de las fracturas y grietas características, explicando también que los clones se marchiten a tensiones mas negativas.

Contrariamente a la correlación negativa de -0.50 encontrada por Özdemir *et al.* (2005) para las variables densidad aparente y Punto de Marchitez Permanente, en este estudio se encontró una correlación positiva de 0.52. Aunque es muy baja, se puede determinar que otra de las causas que afecta el PMP es la compactación; según Singer & Munns (1999) densidades aparentes mayores a 1.6 g/cc generan compactación; cuatro de los nueve suelos tienen densidades aparentes mayores a este valor (Tabla 12) lo que dificulta la extensión de las raíces, restringiendo la toma de agua. Es posible que la causa de que ningún tratamiento haya alcanzado 100 centibares de PMP en la unidad LGLb – El Carmen se pueda atribuir al horizonte agrico que presenta. Según IGAC (1995), este horizonte se forma bajo la capa de arado y se caracteriza por contener cantidades significativas de limo, arcilla y humus iluviales, desarrollados mediante los cambios generados asociados con las prácticas del cultivo. Los cambios producidos repercuten en el recubrimiento de los pedos, en el relleno de los poros y sobre la actividad de microorganismos.

La unidad LGLb – Jurado se caracteriza por presentar el promedio mas bajo de tensión de humedad al PMP en todo el estudio con 53.23 centibares (Tabla 8), esto se correlaciona con el bajo contenido de arcilla lo que conlleva a tener el menor contenido de humedad disponible para las plantas. Aunque las raíces de los rametos colonizan todo el sustrato (observación cualitativa) el mayor porcentaje de poros y la poca agua disponible hace que los rametos se marchiten a tensiones más negativas.

Debido a que el rango de pH del suelo oscila entre 5.9 y 6.9 (Tabla 13), es factible que todos los nutrientes estén disponibles para la planta, por lo que no se puede atribuir directamente la respuesta del PMP a esta propiedad del suelo. Igualmente *G. arborea* tiene un amplio rango de tolerancia y puede crecer en suelos ácidos o calcáreos hasta lateríticos.

Tabla 10. Propiedades químicas del complejo de cambio medidas en meq/100 gr y fósforo en partes por millón para las nueve unidades cartográficas – series de suelo.

Unidades Cartográficas	Lote	Serie de suelo	Complejo de cambio (meq / 100 gr.)					Bases totales	% Saturación bases	Fósforo ppm
			CIC	Ca	Mg	K	Na			
VTNa	San José 01	Casablanca	41.2	25.5	13.2	2.3	0.67	41.6	96.9	78.7
VTNa	Andaluz 17	Bolívar	31.5	14.7	11.4	1.6	0.7	28.5	90.3	112.1
VTCa	Andaluz 21	Nechi	18.2	1.05	6.1	0.88	0.16	17.6	96.3	78.7
LGLb	Petate 03	Jurado	7.3	5.6	2.5	0.27	0.04	8.5	Saturado	24.6
LGLb	Malicia 01	El Carmen	21.8	14.9	6.1	0.97	0.17	22.1	Saturado	70.4
VTCa	Papayo 01	Casablanca	42.1	26.2	10.6	2	0.81	39.6	94.2	151
LGLb	Petate 02	Bolívar	39.2	27.1	9.4	1.9	0.26	38.7	98.6	95.7
VTNa	Totumito 04	Casablanca	44.8	35.5	9.8	1.7	0.09	47.1	Saturado	107
VTMa	Modelo 14	Casablanca	48.1	35.4	11.8	1.9	0.42	49.4	Saturado	140

Tabla 11. Porcentaje de porosidad total incluyendo macroporos, mesoporos, microporos y poros menores a 1 micra de las nueve unidades cartográficas – serie de suelo.

Unidad Cartográfica	Lote	Serie de suelo	Porosidad total %	% Macroporos	% Mesoporos	%Microporos	% Poros
				> 60 mc	60-10 mc	10 – 1 mc	< 1 mc
VTNa	San José 01	Casablanca	0.99	0.18	0.53	0.28	0
VTNa	Andaluz 17	Indio	2.23	0.34	1.25	0.56	0.07
VTCa	Andaluz 21	Nechi	5.36	0.54	3.5	1.32	0
LGLb	Petate 03	Jurado	17.03	3.86	10.44	2.72	0
LGLb	Malicia 01	El Carmen	4.54	1.48	1.36	1.21	0.48
VTCa	Papayo 01	Casablanca	1.05	0.09	0.42	0.54	0
LGLb	Petate 02	Bolívar	2.03	0.26	1.22	0.55	0
VTNa	Totumito 04	Casablanca	2.06	0.25	1.22	0.59	0
VTMa	Modelo 14	Casablanca	0.99	0.05	0.59	0.36	0

Tabla 12. Densidad aparente, densidad real y conductividad hidráulica para las nueve unidades cartográficas – serie de suelo.

Unidad Cartográfica	Lote	Serie de suelo	Densidad Aparente	Densidad Real	Conductividad Hidráulica
VTNa	San José 01	Casablanca	2,38	1,21	0,63
VTNa	Andaluz 17	Bolívar	2,45	1,32	0,59
VTCa	Andaluz 21	Nechi	2,42	1,54	0,27
LGLb	Petate 03	Jurado	1,7	2,69	1,7
LGLb	Malicia 01	El Carmen	2,38	1,23	0,8
VTCa	Papayo 01	Casablanca	1,7	2,58	3,1
LGLb	Petate 02	Bolívar	1,4	2,62	0,05
VTNa	Totumito 04	Casablanca	1,5	2,57	1,6
VTMa	Modelo 14	Casablanca	1,2	2,43	6,1

Tabla 13. Porcentaje de carbón orgánico y pH para las nueve unidades cartográficas – serie de suelo

Unidad Cartográfica	Lote	Serie de suelo	M. O.	pH
			% C. O.	
VTNa	San José 01	Casablanca	1.6	5.9
VTNa	Andaluz 17	Bolívar	1.6	6.2
VTCa	Andaluz 21	Nechi	1.5	6.4
LGLb	Petate 03	Jurado	0.49	6.2
LGLb	Malicia 01	El Carmen	1.4	6.7
VTCa	Papayo 01	Casablanca	1.5	6.5
LGLb	Petate 02	Bolívar	1.4	5.9
VTNa	Totumito 04	Casablanca	1.7	6.3
VTMa	Modelo 14	Casablanca	1.4	6.9

M.O.: Materia Orgánica

C. O.: Carbón Orgánico

El uso de estos suelos para plantaciones clonales implica mejorar las propiedades físicas y químicas en la superficie y posiblemente a mayor profundidad. La compactación de algunos suelos implica realizar ajustes, en los sistemas de labranza. La separación y granulación de suelos de textura fina aumenta la aireación por el aumento del espacio total de los poros y, principalmente, por el aumento de la proporción de los macroporos.

6.2 Clones

Se realizó un nuevo análisis de varianza, para establecer que clones tenían diferencias significativas, lo que generó dos categorías; la primera donde no se encuentran diferencias significativas, es decir el PMP es independiente de las propiedades físico y químicas del suelo y la segunda donde el PMP no es independiente de las propiedades físico y químicas del suelo (Figura 29).

Los valores promedio del PMP de los clones 1, 15, 31, 37, 40, 48, 53, 55, 60, 61, 64, 66, 75, 79, 84, 94 y 112 (Anexo F) no presentan diferencias significativas entre las unidades cartográficas estudiadas, es decir, que el valor promedio de PMP registrado en la tabla 7 es igual para todos estos clones y se expresa independientemente del suelo. En este caso el componente genético es el que más influye en la respuesta del PMP para estos clones, mientras que el componente ambiental, en este caso las propiedades físico y químicas del suelo, no juega un papel fundamental en la respuesta del PMP.

Debido que un clon se comporta igual en un sitio que en otro, no sería conveniente emplearlos en sitios con disponibilidad de agua reducida y posiblemente implicaría que los rendimientos de la plantación no sean satisfactorios.

Las condiciones ambientales varían drásticamente, de un sitio a otro, en distancias relativamente cortas, por ejemplo en el sector de la Estrella la precipitación es 900 mm/año y en el sector de Totelemen a una distancia aproximada de tres kilómetros la precipitación es menor a 600 mm/año, por lo que las condiciones de estrés hídrico

serían mayores y estos clones resistirían menos las condiciones de esta última zona (M. Rodríguez com. pers.).

A diferencia de los anteriores, los clones 24, 32, 49, 51 56, 62, 67, 68, 78 y 86 muestran diferencias significativas entre las unidades cartográficas – series de suelo (Anexos F18 – F27) por lo que el valor promedio de PMP es dependiente en un mayor porcentaje por las propiedades físico y químicas del suelo.

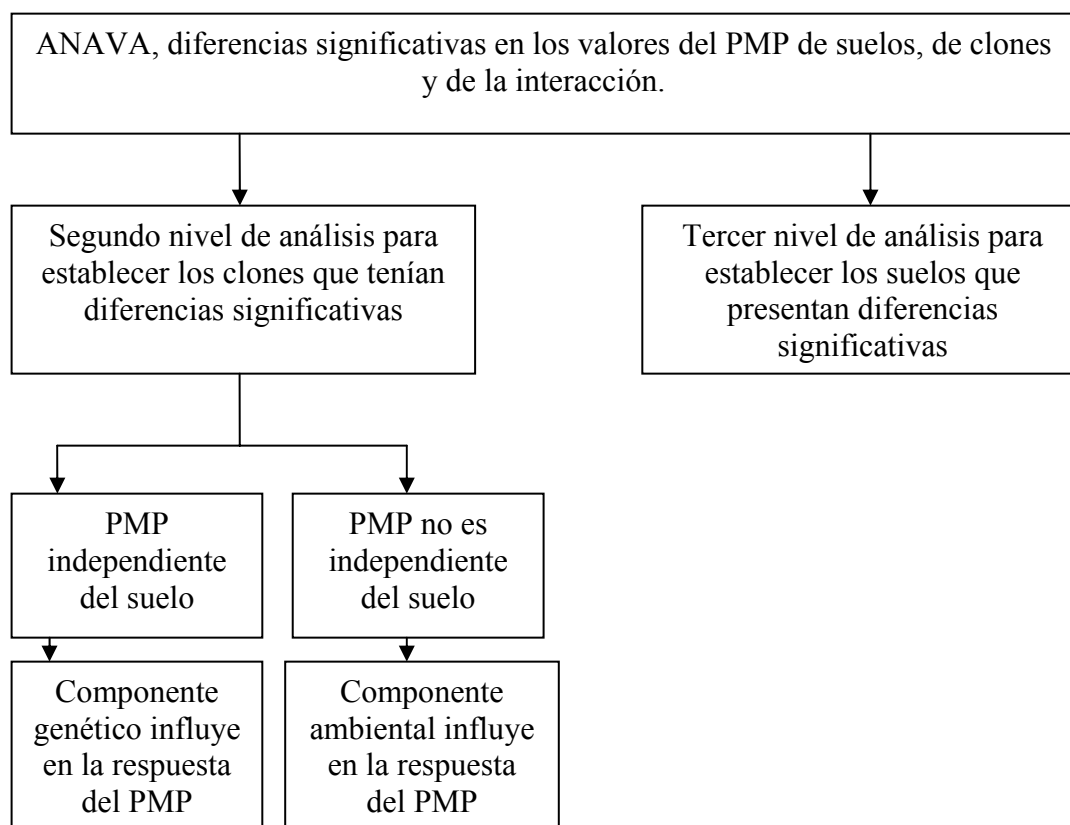


Figura 29. Diagrama de flujo indicando los niveles de análisis de varianza.

6.2.1 Clon 24

En este clon se muestra el PMP promedio más alto de todo el estudio (Tabla 7). Las diferencias significativas se encuentran en las unidades VTNa y VTNa – Bolívar correspondientes a 129.33 y 141.33 cb, respectivamente.

6.2.2 Clon 32

Las diferencias significativas de PMP se encuentran en la unidad cartográfica LGLb – Jurado correspondiente a 113.67 cb.

6.2.3 Clon 49

Las diferencias significativas de PMP se encuentran en las unidades cartográficas VTNa - Bolívar y VTCa – Nechi correspondientes a 101.67 y 108 cb. respectivamente.

6.2.4 Clon 51

Las diferencias significativas de PMP se encuentran en la unidad cartográfica VTNa – Casablanca y corresponde a 137 cb.

6.2.4 Clon 56

Las diferencias significativas de PMP se encuentran en la unidad cartográfica VTNa correspondiente a 137.33 cb.

6.2.5 Clon 62

Las diferencias significativas de PMP se encuentran en la unidad cartográfica VTNa correspondiente a 127 cb.

6.2.6 Clon 67

En este clon se muestra el segundo promedio más alto de PMP de todo el estudio (Tabla 7). Las diferencias significativas de PMP se encuentran en las unidades cartográficas VTNa y VTMa correspondientes a 112.67 y 116 cb, respectivamente.

6.2.7 Clon 68

Las diferencias significativas de PMP se encuentran en las unidades cartográficas LGLb - Bolívar y VTNa correspondientes a 93 y 105.67 cb, respectivamente.

6.2.8 Clon 78

Las diferencias significativas de PMP se encuentran en la unidad cartográfica LGLb – Bolívar correspondiente a 127.67 cb.

6.2.9 Clon 86

Las diferencias significativas de PMP se encuentran en la unidad cartográfica VTNa correspondiente a 116.33 cb.

De acuerdo con los resultados anteriores, el valor del PMP de la mayoría de estos clones depende de las propiedades físico y químicas del suelo (componente ambiental) siendo la serie de suelo de unidad cartográfica VTNa donde seis de los diez clones alcanzan tensiones mas negativas y mayor tolerancia al estrés hídrico, aunque ninguno alcance los 150 centibares de tensión. Posiblemente, características como baja densidad aparente, un alto contenido de mesoporos, alta capacidad de intercambio catiónico y el presentar la mayor cantidad de agua disponible para esta unidad, hace que las raíces aprovechen mejor el agua disponible, además según Murillo & Valerio (1991) el no presentar compactación o capas endurecidas en el suelo conduce a que la especie tenga mejores resultados.

Para que el mejoramiento genético maximice la producción es necesario utilizar los clones que mejor respondan a los sitios. Los resultados del estudio indican un buen comportamiento de algún(os) clon (es) en siete sitios; lo que podría ser conveniente para un programa de plantaciones clonales. Sin embargo, según Zobel & Talbert (1984) por razones de riesgo de una excesiva reducción de la variabilidad genética, se recomienda el uso mínimo de 15 clones en un programa clonal comercial, aunque

unos pocos especialistas sugieran que con un clon se puede establecer la plantación clonal.

La selección de clones por el comportamiento ante la variable PMP junto con la evaluación del producto del volumen por la densidad de madera es el punto de partida, para que el mejoramiento genético maximice su producción. Se aumenta el diferencial de selección y la ganancia genética al seleccionar los mejores clones a los sitios de plantación (Mesen 1995). Por lo tanto, el PMP es una variable que permite la asignación de clones a los sitios potenciales de plantación.

6.3 Variación intraclonal

El análisis de los componentes de la varianza muestra que para los clones 32, 56, 67, 68 y 86 la variación al interior de los tratamientos es mayor que la variación entre los tratamientos, mientras que en los clones 24, 49, 51, 62 y 78 (Anexo G) ocurre lo contrario; esto sugiere que existe variación intraclonal en estos últimos. La variación intraclonal en el proceso de multiplicación clonal de estos clones es atribuida a un efecto ontogenético y de la edad fisiológica focal dentro de la selección del rameto. Se plantea la hipótesis de que factores como la topófisis del rameto pueden estar directamente relacionados con estas expresiones del genotipo.

En los clones donde mayor tolerancia al estrés hídrico hay, la variación intraclonal, genera que uno o dos rametos de los tres evaluados por clon muestren esta tolerancia, por lo que si se pretende plantar masivamente los rametos de este clon por su buena tolerancia al estrés hídrico es de esperarse que no todos los rametos de este clon se comporten de igual manera.

El problema de la variación intraclonal puede solucionarse por ejemplo con base en la propagación por micro o miniestacas, o establecer que parte de la planta madre genera la variación o que factor; edad, nutrición etc., se asocia con la presencia de este fenómeno.

6.4 Unidad cartográfica – Series de suelos

Para las unidades LGLb – El Carmen y VTCa - Casablanca, no se presentaron diferencias significativas (Anexos H1 y H2) entre los clones, es decir el valor promedio de PMP registrado en la tabla 8 es igual para todos los clones. En la unidad LGLb – El Carmen aparte de las características mencionadas anteriormente, la compactación y el alto porcentaje de poros menores a 10 micras incluido el 10% de poros menores a 1 micra, genere la misma respuesta de los clones en esta unidad.

Aunque las características del suelo de la unidad LGLb, son adecuadas para el desarrollo de *G. arborea*, posiblemente el tener 51.4% de microporos del porcentaje del total de poros genere insuficiente aireación en el suelo y los clones tengan la misma respuesta en esta unidad. Estos resultados implican que en estas unidades cartográficas – series de suelo no se asignen clones específicos, porque el comportamiento de todos es similar.

En las siete unidades cartográficas restantes donde se presentan diferencias significativas (Anexo H). En la Tabla 14 se muestran las jerarquías de los clones por PMP en las unidades cartográficas y las diferencias encontradas al aplicar el test de Tukey.

Las variaciones del PMP en clones de *G. arborea* posiblemente ocurran similarmente como en algunos genotipos de remolacha que responden de manera diferente a la deficiencia hídrica en estados tempranos de crecimiento. Tal y como lo indica Mohammadian *et al.* (2005), la tolerancia al estrés es una característica heredable. Posiblemente las diferencias presentadas en el PMP de algunos clones de *G. arborea* se deba a competencia en el enraizamiento y colonización del sustrato, que según Browne *et al.* (1997) parecen desarrollarse independiente en cada clon o rameto, como ocurre en *Prunus insititia*. La forma como las plantas y posiblemente los clones de *G. arborea* responden al estrés hídrico tiende a ser diferente en determinado sitio.

Tabla 14. Jerarquía de los clones por punto de marchitez permanente en las siete unidades cartográficas.

VTNa	VTNa	VTCa	LGLb	LGLb	VTMa	VTMa
Casablanca	Bolívar	Nechi	Jurado	Bolívar	Casablanca	Casablanca
51 a	24 a	40 a	32 a	78 a	24 a	67 a
37 ab	94 a	84 ab	79 ab	66 ab	56 ab	75 ab
53 abc	49 ab	49 abc	84 ab	68 abc	62 abc	24 ab
24 abc	66 abc	64 abc	64 ab	24 abc	86 abcd	40 ab
94 abc	62 abc	55 abc	75 ab	1 abc	67 abcd	53 ab
112 abc	37 abc	56 abc	55 ab	56 abc	68 abcd	60 ab
67 abc	56 abc	75 abc	94 ab	75 abc	94 abcd	62 ab
48 abc	67 abc	79 abc	48 ab	37 abc	75 abcd	64 ab
49 abc	32 abc	15 abc	1 ab	61 abc	1 abcd	56 ab
55 abc	53 abc	24 abc	15 ab	15 abc	53 abcd	32 ab
56 abc	112 abc	67 abc	68 ab	40 abc	66 abcd	37 ab
61 abc	15 abc	66 abc	31 ab	84 abc	40 abcd	86 ab
40 abc	86 abc	62 abc	62 ab	67 abc	55 abcd	66 ab
79 abc	48 abc	86 abc	112 ab	64 abc	64 abcd	94 ab
15 abc	40 abc	94 abc	66 ab	86 abc	84 abcd	84 ab
75 abc	64 abc	53 abc	40 ab	62 abc	15 abcd	55 ab
62 abc	75 abc	60 abc	37 ab	48 abc	60 abcd	61 ab
32 abc	1 abc	31 abc	51 ab	53 abc	31 abcd	15 ab
31 bc	61 abc	78 abc	49 ab	79 abc	32 abcd	49 ab
68 bc	68 abc	1 abc	24 ab	51 abc	48 bcd	78 ab
64 bc	51 bc	112 abc	53 b	112 abc	78 bcd	1 ab
66 bc	31 bc	37 abc	86 b	60 abc	37 cd	31 ab
60 bc	60 bc	68 abc	56 b	49 abc	49 cd	51 ab
86 bc	55 bc	48 bc	61 b	94 abc	51 cd	48 ab
78 bc	78 bc	51 bc	78 b	32 bc	112 cd	79 ab
1 bc	79 c	32 c	60 b	31 bc	79d	112 ab
84 c			67 b	55 c		68 b

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

$P < 0.05$

Posiblemente los clones que alcanzaron un PMP más negativo, activarían cambios bioquímicos de transducción de señales que intercomunican las células de toda planta, desencadenando respuestas que permiten recuperar el estado de homeostasis (Buchanan *et al.* 2000). Es probable que las células de *G. arborea* realizaran un ajuste osmótico con el fin de mantener el balance hídrico (Taiz & Zeiger 2002). Según Buchanan *et al.* (2000) el ajuste osmótico permite a la planta mantener la turgencia,

continuar con la elongación celular y facilita la alta conductividad estomatal a potenciales hídricos más negativos.

Tyree *et al.* (2003) describen que las plantas que tienen la tendencia a marchitarse prontamente, pierden conductancia hidráulica en la raíz, mientras que las especies con un xilema más resistente a la cavitación son más tolerantes a la sequía. En los rametos que muestran PMP menos negativo posiblemente se produjo un cierre temprano de estomas para reducir la evaporación, lo que conlleva a una disminución de CO₂ en la concentración intracelular por lo que la asimilación de carbono se inhibe y se reduce la capacidad fotosintética (Taiz & Zeiger 2002).

De manera general, cuando la tensión de humedad es más negativa ocurren cambios en el ciclo celular, la división celular, en el sistema de endomembranas y vacuolización de las células y en la arquitectura de la pared celular. A nivel bioquímico se altera el metabolismo en varias vías produciendo compuestos osmoreguladores como la prolina y la glicina - betaína. Cuando el contenido de agua decrece la célula se encoge y la pared celular se relaja, esta disminución en el volumen celular es resultado de una baja presión de turgencia y una menor concentración de solutos en la célula. La tasa fotosintética se ve limitada, ya que es la única fuente que provee esqueletos de carbono necesarios para suministrar energía química y moléculas combustibles para la obtención de energía mediante la respiración celular. También se afecta la translocación de solutos en el floema, porque dependen de la pérdida de turgencia, por lo que puede verse afectado el movimiento de asimilados (Taiz & Zeiger 2002).

La presencia de rebrotes en la parte basal del tallo de los rametos (Figura 30) en estados de marchitez ligeros, indica un desarrollo anormal de raíces que posiblemente se traduzca en mayor biomasa, lo que hace más resistentes a algunos rametos a la sequía. Según Ogbonnaya *et al.* (1992) es una estrategia de tolerancia a la sequía que se traduce en un contacto de las raíces con un gran volumen de suelo.



Figura 30. Presencia de rebrotes en el clon 24 de la unidad LBLb – Bolívar.

6.5 Duración de los tratamientos desde Capacidad de Campo (CC) hasta Punto de Marchitez Permanente (PMP).

6.5.1 Análisis por grupos de siembra.

La duración promedio de los tratamientos desde capacidad de campo (CC) hasta punto de marchitez permanente (PMP) para el grupo 1 fue de 48 días, para de grupo 2 fue de 55 días, para el grupo 3 fue de 51 días y para el grupo 4 fue de 50 días.

Tanto en los grupos 1 y 4 se encontraron diferencias significativas para las unidades cartográficas – series de suelo, clones y la interacción, mientras que para los grupos 2 y 3 se encontraron diferencias significativas para unidades cartográficas – series de suelo y no se encontraron diferencias significativas para clones e interacción.

6.5.2 Análisis general

La duración promedio de los tratamientos desde de fue de 52 días. Se encontraron diferencias altamente significativas para las unidades cartográficas – series de suelo, clones y de los clones con las la interacción las unidades cartográficas – series de

suelo (Anexo I). En la tabla 15 se presenta el promedio en días desde CC hasta PMP para cada unidad cartográfica - serie de suelo.

Tabla 15. Duración (días) de duran las estacas desde capacidad de campo hasta punto de marchitez permanente en las diferentes unidades cartográficas – series de suelo.

Unidad Cartográfica	Lote	Serie de suelo	Días promedio
VTNa	San José 01	Casablanca	53
VTNa	Andaluz 17	Bolívar	51
VTCa	Andaluz 21	Nechi	48
LGLb	Petate 03	Jurado	47
LGLb	Malicia 01	El Carmen	55
VTCa	Papayo 01	Casablanca	56
LGLb	Petate 02	Bolívar	48
VTNa	Totumito 04	Casablanca	55
VTMa	Modelo 14	Casablanca	53

La correlación entre la duración desde CC hasta PMP es del 46% (Anexo J). En el Anexo K se muestran los análisis de varianza y los valores de cada repetición, promedio de todos los tratamientos en las nueve unidades cartográficas – Series de suelo.

6.6 Porcentaje de humedad al punto de marchitez permanente

Para el cálculo de la humedad al punto de marchitez permanente fue necesario enviar nueve muestras, correspondientes a cada unidad cartográfica – serie de suelo al laboratorio de suelos del IGAC, donde se establecieron las curvas de retención de humedad para cada uno de los suelos, generando a distintas tensiones de humedad (bares) al porcentaje de humedad correspondiente. A cada porcentaje de humedad se estimo su logaritmo natural y se realizó un grafico de dispersión de esta variable (eje Y) versus la tensión de humedad del suelo (eje X).

Para cada unidad cartográfica – serie de suelo se generó un modelo polinomial de segundo orden para predecir el porcentaje de humedad a partir de una tensión determinada. El porcentaje de humedad tiene una correlación negativa con el punto de marchitez permanente (Anexo J), es decir a tensiones de humedad del suelo menos negativas (cero, uno o dos centibares) es mayor el porcentaje de humedad.

6.6.1 Análisis por grupos de siembra

El porcentaje de humedad promedio al punto de marchitez permanente para el grupo 1 fue 24.26 %, para el grupo 2 fue 25.38 %, para el grupo 3 fue 25.01 % y para el grupo 4 fue 24.87 % En los grupos 1 y 2 se encontraron diferencias significativas para las unidades cartográficas – series de suelo y clones y no se encontraron diferencias significativas para la interacción, mientras que para el grupo 4 se encontraron diferencias significativas para las tres fuentes de variación y en el grupo 3 se encontraron diferencias para las unidades cartográficas – series de suelo y no para los clones y la interacción

6.6.2 Análisis general

El porcentaje de humedad promedio para los 243 tratamientos al punto de marchitez permanente fue 25.32 %. Se encontraron diferencias significativas en la interacción unidad cartográfica – serie de suelo por clon y diferencias altamente significativas entre unidades cartográficas – series de suelo y clones (Anexo L). En la tabla 16 se presenta el promedio del porcentaje de humedad al punto de marchitez permanente para cada unidad cartográfica – serie de suelo.

En la Tabla 17 se muestran los promedios de humedad al punto de marchitez permanente para todos los clones en las unidades VTNa - Casablanca, VTNa – Bolívar, VTCa - Nechi, LGLb - Jurado y LGLb - El Carmen. En la Tabla 18 se muestran los promedios de humedad al punto de marchitez permanente para todos los clones en las unidades VTCa, LGLb – Bolívar, VTNa y VTMa.

Las unidades cartográficas – serie de suelo VTNa - Casablanca, LGLb - Jurado y VTCa no muestran diferencias significativas entre los tratamientos para la variable porcentaje de humedad al punto de marchitez permanente mientras que las demás unidades cartográficas – serie de suelo si presentan diferencias significativas entre sus tratamientos (Anexo M). El porcentaje de humedad al punto de marchitez permanente, depende de las propiedades físicas del suelo, especialmente del contenido de arcillas.

Tabla 16. Promedio del porcentaje de humedad al punto de marchitez permanente en las diferentes unidades cartográficas – series de suelo.

Unidad Cartográfica	Lote	Serie de suelo	Porcentaje de humedad
VTNa	San José 01	Casablanca	31.66
VTNa	Andaluz 17	Bolívar	23.48
VTCa	Andaluz 21	Nechi	13.28
LGLb	Petate 03	Jurado	8.85
LGLb	Malicia 01	El Carmen	18.59
VTCa	Papayo 01	Casablanca	29.17
LGLb	Petate 02	Bolívar	32.19
VTNa	Totumito 04	Casablanca	33.7
VTMa	Modelo 14	Casablanca	36.51

6.7 Asignación de los clones a las unidades cartográficas – series de suelo

Las diferencias altamente significativas para la interacción clon por unidad cartográfica – serie de suelo (Anexo D), favorecen un análisis más detallado en la asignación de clones a sitios potenciales de plantación. Posiblemente la causa de la variación del PMP en los clones que presentaron diferencias significativas se deba a la interacción genotipo por ambiente.

Tabla 17. Promedios de humedad al punto de marchitez permanente para todos los clones en seis unidades cartográficas.

Unidad Clon	VTNa - Casablanca	VTNa – Bolívar	VTCa - Nechi	LGLb - Jurado	LGLb - El Carmen
1	36,56	25,92	14,21	7,62	20,16
15	33,79	20,82	12,29	7,92	16,75
24	28,92	18,89	12,53	9,32	16,57
31	32,26	24,96	14,73	8,11	19,75
32	31,90	21,16	16,02	8,19	18,91
37	29,34	30,46	13,57	11,50	19,12
40	32,07	21,36	10,72	8,88	19,26
48	31,52	21,58	15,83	8,78	17,47
49	29,34	20,31	11,57	8,55	23,31
51	26,32	25,67	16,96	8,90	19,60
53	30,19	22,63	12,99	9,06	16,90
55	29,56	27,46	11,80	8,60	17,31
56	33,68	21,98	12,06	9,63	22,06
60	32,74	25,64	13,18	10,12	19,00
61	29,44	22,35	-	10,28	22,48
62	31,82	17,23	13,23	7,98	17,40
64	34,23	21,50	11,79	7,49	17,60
66	33,07	20,34	12,65	8,81	18,54
67	29,50	21,28	12,94	11,56	17,08
68	33,54	22,64	14,23	8,52	16,93
75	33,60	24,03	12,03	8,80	-
78	34,46	26,47	13,93	9,56	17,11
79	31,75	30,91	12,40	7,57	20,09
84	36,68	-	11,27	7,14	17,22
86	32,91	22,73	12,96	9,33	18,58
94	29,13	19,60	14,50	7,40	16,64
112	28,90	20,90	14,85	9,15	18,50

Tabla 18. Promedios de humedad al punto de marchitez permanente para todos los clones en 4 unidades cartográficas.

Unidad Clon	VTCa - Casablanca	LGLb – Bolivar	VTNa - Casablanca	VTMa - Casablanca
1	27,42	28,92	31,80	38,65
15	27,26	30,61	31,69	37,48
24	26,89	28,86	27,69	31,73
31	31,15	38,85	35,57	40,37
32	30,14	39,00	35,57	34,89
37	28,87	32,50	36,47	33,76
40	32,00	29,86	33,68	32,68
48	28,12	32,57	35,13	39,69
49	32,91	36,27	36,96	37,14
51	33,22	31,42	36,91	38,31
53	24,52	31,26	31,66	32,73
55	31,11	42,28	33,30	37,63
56	30,37	28,72	29,39	34,46
60	29,07	34,96	36,18	33,09
61	25,00	32,10	-	36,40
62	25,78	31,62	30,13	34,06
64	32,90	31,83	37,64	34,06
66	30,67	27,22	31,06	36,73
67	28,10	29,65	29,68	31,19
68	27,62	29,19	32,12	43,91
75	38,25	32,37	32,61	31,95
78	25,01	27,18	36,45	42,03
79	26,10	34,38	39,36	41,97
84	26,32	31,10	36,98	36,85
86	29,48	29,69	30,58	34,95
94	29,69	32,50	30,64	36,62
112	29,69	34,37	36,60	41,98

En la Figura 31 se muestra el PMP del clon 1 en las diferentes unidades cartográficas – series de suelo. En la Figura 32 se muestra la variación del PMP del clon 24 que presento diferencias significativas en las diferentes unidades cartográficas – series de suelo.

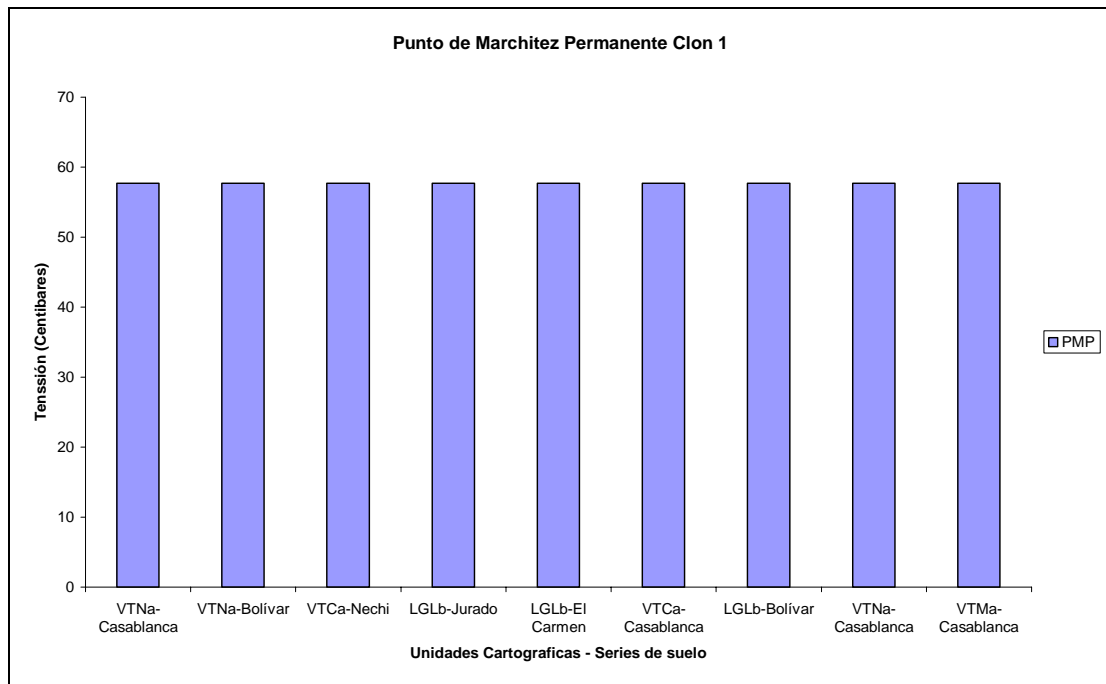


Figura 31. Punto de Marchitez Permanente del clon 1 en las unidades cartográficas – series de suelo

El factor que limita la productividad de los clones en algunos sitios es la interacción genotipo por ambiente. En este sentido un sistema de clasificación de sitios basado en factores de suelo y clima permite mejorar la productividad y definir planes de manejo acorde con la oferta ambiental de los sitios. Se debe recordar que el rendimiento del árbol es el resultado de la interacción de su genotipo por el ambiente en el cual se ha desarrollado, no se logran mejores rendimientos si uno de estos componentes es inadecuado.

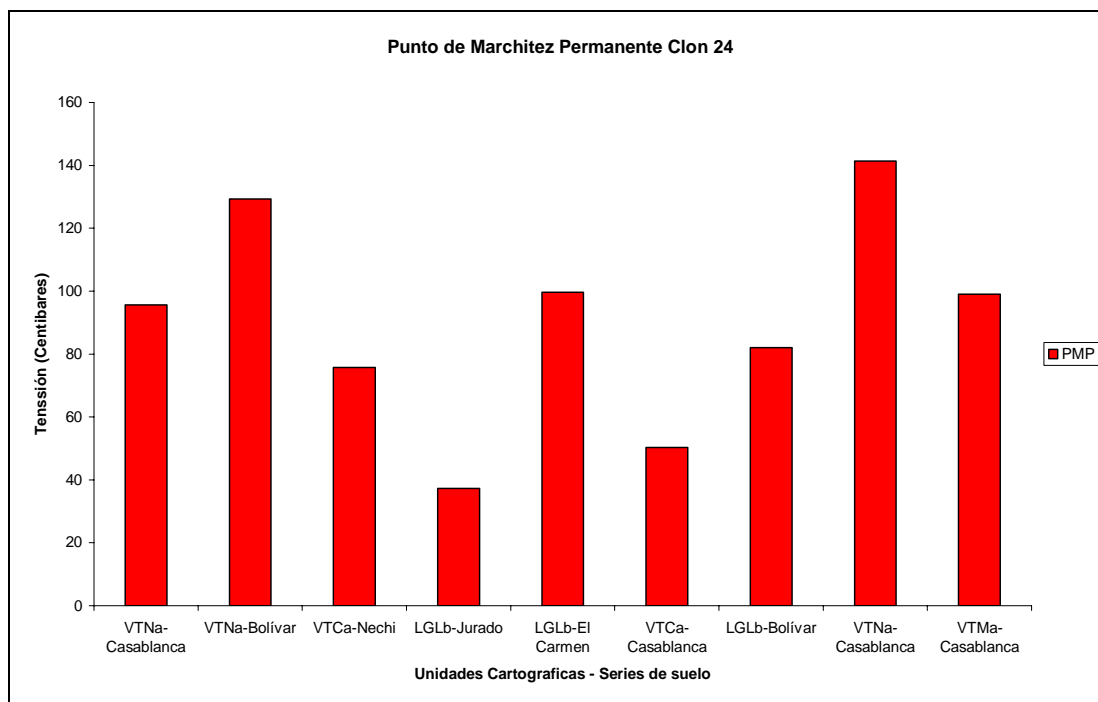


Figura 32. Punto de Marchitez Permanente del clon 24 en las unidades cartográficas – series de suelo

El éxito de una plantación clonal esta en la adecuada asignación del mejor clon a un sitio, es por esto que el análisis de la interacción clon por unidad cartográfica – serie de suelo es fundamental para este propósito. Los resultados de este análisis hacen más restrictiva la selección y asignación de clones a las unidades cartográficas.

Es posible que la selección de las muestras en un área tan pequeña de la unidad cartográfica, no permita extrapolar los resultados que se obtendrán a toda la unidad cartográfica, debido a que en esta se presentan variaciones en propiedades físico y químicas no medidas. Además, el muestreo de los suelos al límite de otras series de suelo, posiblemente genera un efecto de borde el cual no representaría el ambiente en al cual deba asignarse el clon.

Debido a que el PMP del clon es una variable que puede considerarse para la selección, se generó un modelo para explicar la posibilidad de establecer el PMP mas

probable en cualquier suelo, con base en la información de las propiedades físico y químicas que proveería un laboratorio ya que los modelos basados en asumir 150 centibares de tensión al PMP parece no son suficientes, según se deduce de los resultados obtenidos, con *G. arborea*. En la Tabla 19 se muestran los resultados observados y los estimados del PMP de los suelos estudiados con base en la siguiente ecuación obtenida por regresión lineal múltiple:

$$Y = 199.254684 - 51.9126072 X_1 + 2.62135485 X_2 - 13.00566363 X_3 + 16.7226829 X_4 + 6.92886627 X_5 + 1.6008969 X_6 - 26.6337456 X_7 + 13.3494394 X_8.$$

Donde Y es el Punto de Marchitez Permanente, X1 es el porcentaje de macroporos, X2 es el porcentaje de arcilla, X3 es la capacidad de intercambio catiónico, X4 es la conductividad hidráulica, X5 es el porcentaje de humedad al punto de marchitez permanente, X6 es el porcentaje de humedad al punto de capacidad de campo, X7 es la densidad aparente y X8 es la densidad real.

Tabla 19. Valores observados y estimados del PMP promedio de las nueve unidades cartográficas – serie de suelo.

Unidad Cartográfica	Serie de suelo	Valores observados	Valores estimados
VTNa	Casablanca	63,48	63,48
VTNa	Bolívar	66,94	66,94
VTCa	Nechi	70,57	70,57
LGLb	Jurado	53,23	53,23
LGLb	El Carmen	67,08	67,08
VTCa	Casablanca	66,07	66,07
LGLb	Bolívar	60,45	60,45
VTNa	Casablanca	68,71	68,71
VTMa	Casablanca	62,55	62,55

R-Square 1 Correlation 1

Los clones que potencialmente serían asignados a las unidades cartográficas pueden ser los que presentan diferencias significativas en cada unidad cartográfica (Tabla 14). Sin embargo, en cuatro unidades cartográficas donde algunos clones presentaban diferencias significativas, su promedio de PMP es independiente del tipo de suelo, lo que hace que la asignación sea más rigurosa. En la unidad VTNa - Casablanca el clon 37, en la unidad VTCa – Serie Bolívar el clon 94, en la unidad VTCa - Serie Nechi – fp el clon 40 y en la unidad LGLb – Serie Bolívar – rt el clon 66. Por esta razón estos clones son descartados del programa de selección y asignación y en la Tabla 20 se presentan los clones que serán asignados a las unidades cartográficas de la zona.

Tabla 20. Selección de los clones con mejor respuesta de PMP para las unidades cartográficas.

VTNa Casablanca	VTNa – Bolívar	LGLb - Jurado	LGLb - Bolívar	VTNa - Casablanca	VTMa - Casablanca
51	24	32	78	24	67
	49			56	
				62	

En el programa Arc View GIS 3.3 se analizó la extensión de cada una de las unidades cartográficas de pendientes y cada una de las series de suelo de la Tabla 19. La intersección de la serie de suelo con la unidad cartográfica de pendientes generó una extensión en el mapa (Figura 33) donde se asignaron los clones con mejor respuesta de PMP de la Tabla 20. Como en las unidades VTNa, lote Totumito y VTMa, lote Modelo no se generó intersección con las series de suelo, se selecciono toda la unidad para realizar la selección.

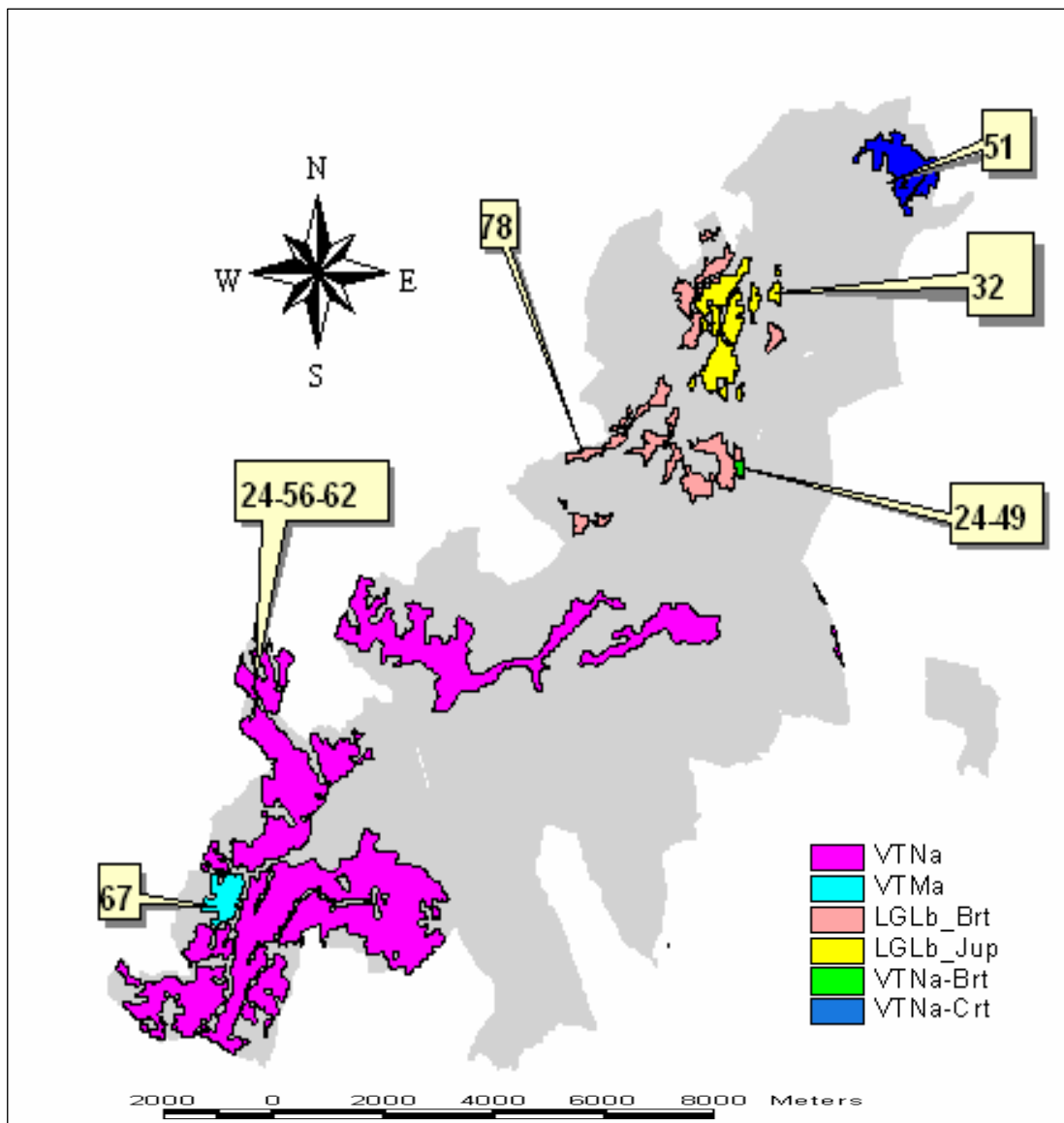


Figura 33. Asignación de los clones que mejor respuesta tienen en las Unidades cartográficas – Series de suelo de la zona.

7. Conclusiones

- El análisis general de la interacción indica que la variable punto de marchitez permanente debe ser empleada para la asignación de clones a sitios con el fin de establecer ensayos clon – sitio dirigidos a utilizar los mejores materiales de siembra en las plantaciones clonales.
- El valor promedio de PMP de cada uno de estos clones 1, 15, 37, 40, 48, 53, 55, 60, 61, 64, 66, 75, 79, 84, 94 y 112 es igual y se expresa independiente del suelo, por lo que la componente genética es la que mas influye en la respuesta del PMP.
- El valor promedio de los clones 24, 32, 47, 49, 51, 56, 62, 67, 68, 78 y 86 es dependiente de las propiedades físico y químicas del suelo, por lo que la componente ambiental es la que mas influye en la respuesta del PMP
- El Punto de marchitez Permanente promedio para los 27 clones de *Gmelina arborea* estudiados fue -6.4 bares, siendo menor y diferente al PMP definido teóricamente, es decir – 15 bares.
- Las diferencias significativas en el porcentaje de humedad del suelo a Punto de Marchitez Permanente entre las Unidades cartográficas – Series de suelos se deben a las características texturales propias de cada suelo, específicamente su contenido de arcilla.

8. Recomendaciones.

- Evaluar la tensión de humedad al Punto de Marchitez Permanente, sembrando simultáneamente todos los rametos y llevarlos simultáneamente a Capacidad de Campo.
- Evaluar el efecto de la reducción de la tensión de humedad utilizando clones de plantaciones forestales donde se presenten las menores precipitaciones por año, con el fin de encontrar clones mas resistentes al déficit hídrico.
- Evaluar la expresión de punto de marchitez permanente para los clones de *Gmelina arborea* con diferentes fuentes de Potasio.
- Evaluar el volumen y la densidad básica de la madera de los clones seleccionados en campo con el fin de comparar rendimientos en el sitio de plantación y validar los resultados de los ensayos clon - sitio.

9. Referencias

Altamura, M. M. 1996. Root histogenesis in herbaceous and woody explants cultured *in vitro*. A critical review. *Agronomie*. 16: 589-602.

Agus, C. 2001. Net primary production and nutrient absorption of fast growing *Gmelina arborea* Roxb. (*yemane*) at tropical plantation forest. *Indonesian Journal of Agricultural Sciences* 1: 46-52.

Azcón – Bieto, J. & M. Talón. 2000. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Interamericana Mc Graw Hill. Madrid. 522 p.

Browne, R. D., C. G. Davidson, T. A. Steevens & D. I. Dunstan. 1997. Rooting of proliferated dwarf shoot cuttings of jack pine (*Pinus banksiana*). *Canadian Journal of Forest Research* 27(1):97-101.

Barlow, P. W. 1994. The origin, diversity, and biology of shoot-borne roots. Págs 1-24. en: T. M. Davis y B. E. Haissig (ed). *Biology of adventitious root formation*. Plenum Press. New York.

Brase, R. 2004. Managing Vine Stress With Irrigation. *American Fruit Grower* 124 (6): 26

Buchanan, B., W. Gruissem, R. Jones. 2000. *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. American Society of Plant Physiologists, Maryland. USA. 1367 p.

Burbano, O. H. 1989. *El suelo una visión sobre sus componentes bioorgánicos*. Conciencias. Ministerio de Educación Nacional. Bogotá. 447 p.

Carneiro, M. A., J. O. Siqueira, F. M. Carvalho, S. Botelho, O Junior. 1998. Micorriza arbuscular em espécies arbóreas e arbustivas nativas de ocorrência no sudeste do Brasil. *Cerner* 4 (11): 129 – 145.

Carpenter, B., A. Kennedy, J. Reganold. 2000. Organic and biodinamic magnament effects on soil biology. Soil Science Society of America Journal. 64: 1651 – 1659.

Cochran, W. & G. Cox. 1983. Diseños experimentales. Ed Trillas. Mexico. 661p.

Cronquist, Arthur. The cronquist system [En línea]. 1988. The evolution and classification of flowering plants. <www.csdl.tamu.edu/Flora/newgate/cron1ang.htm> [Consulta 15 Sepetiembre de 2005].

Davies, T & B. Haissing. 1994. Biology of adventitious root formation. Plenum Press. New York. 474 p.

Dorronsoso, Carlos. Introducción a la edafología [En línea]. Universidad de Granada. <edafología.urg.es/imagenter/index.htm> [Consulta 27 Sepetiembre de 2005].

Diaz, L. Micorrizas: Aspectos generales. Págs 1 – 16 en: Conif (ed.). Memorias Entrenamiento Práctico: Producción de material vegetal dentro del concepto de biofábricas forestales. Bogotá.

Dvorak, W. S. 2004. World view of *Gmelina arborea*: opportunities and challenges. New Forest. 28: 111 – 116.

Ellerbrock, R. H., H. H. Gevke, J. Bachman, O. Goebel. 2005. Composition of Organic Matter Fractions for Explaining Wettability of Three Forest Soils. Soil Science Society of America Journal. 69: 57 – 67

Espinoza, J. A. 2003. Genetic Variation in Wood Density of *Gmelina arborea* planted on different sites in Western Venezuela. Tesis (Máster of science). Universidad Estatal de Carolina del Norte. Departamento Forestal. Raleigh. USA. 66p.

Espinoza, J. A. 2004. Within-tree density gradients in *Gmelina arborea* in Venezuela. *New Forest*. 28: 309 – 317.

Greaves, A. 1981. *Gmelina arborea*. *Forestry abstracts* 42 (6): 238 – 251

Hartmann H. T., D. E. Kester, J. T. Davies & R. L. Geneve. 1997. *Plant propagation: Principles and practices*. Sexta Edición. Prentice-Hall Inc. Upper Saddle River, New Jersey. 770 p.

Hodge, G. R. & W. S. Dvorak. 2004. The CAMCORE international provenance/progeny trials of *Gmelina arborea*: genetic parameters and potential gain. *New Forest*. 28: 147 – 166.

Hurtado, C. H., M. A. Ramos., M. E. Lozada & C. V. Palmera. 1975. *Estudio general de suelos de los municipios de Carmen de Bolívar, San Jacinto, San Juan Nepomuceno, Zambrano, El Guamo y Córdoba*. Primera Edición. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Subdirección Agrologica. Volumen 11 N° 3. Bogotá. 274 p.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 1995. *Suelos de Colombia*. Subdirección de Agrología. Ministerio de Hacienda y Crédito Público. Bogotá. 632 p.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 1998. *Estudio general de suelos del departamento de Bolívar*. Ministerio de Hacienda y Crédito Público. Bogotá. 175 p

Inta. 1981. *Carta de Suelos Delta Entrerriano. Aptitud Forestal de los Suelos*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Buenos Aires. 298 p.

Kijkar, Somyos. *Tropical Tree Seed Manual* [En línea]. The KNGR team. Enero 1 2003. < <http://www.rngr.net/Publications/ttsm/Folder.2003-07-11.4726/PDF.2004-03-03.1531/file>> [Consulta 15 Agosto de 2004].

Klein, C. & C. S. Hurlbut. 1993. Manual of Mineralogy. John Wiley & Sons, Inc. USA. 681 p.

Kovalsky, G. 2004 Repuestas genéticas de las plantas al estrés hídrico. Universidad de los Andes. Bogotá. 44 p.

Ladrach, W. E. 2004. Harvesting and comparative thinning alternatives in *Gmelina arborea* plantations. New Forest. 28: 255 – 268.

Lambers, H. F. Chapin III & T. Pons. 1998. Plant Physiological Ecology. Springer Verlag. Berlin. 384 p.

Landon, J. R. 1984. Booker tropical soil manual. Pitman Press Limited. New York. 450 p.

Lauridsen, E . B. & E. D. Kjaer. 2002. Provenance research in *Gmelina arborea* Linn., Roxb. A summary of results from three decades of research and a discussion of how to use them. International Forestry Review 4(1): 1 – 15

McMahon, M. J., A. M. Kofranek., & V. E. Rubatzky. 2002. Hartmann's Plant Science. Growth, Development and Utilization of Cultivated Plants. Tercera Edición. Prentice Hall Inc. USA. 573 p.

Montengro, G. & D. Malagón. 1990. Propiedades físicas de los suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 622 p.

Moya, R. R. 2004. Wood of *Gmelina arborea* in Costa Rica. New Forest. 28: 299 – 307.

Motta, M. 1996. Latifoliadas zona baja. Guía técnica # 2 Servicio de información y Documentación Seidal – Conif. Bogotá. 103 p.

- Mohammadian, R. M. Moghaddam. H. Rahimian. & S.Y. Sadeghian. 2005. Effect of Early Season Drought Stress on Growth Characteristics of Sugar Beet Genotypes. *Turkish of Agriculture & Forestry*. 29: 357 - 368
- Mohnen, D. 1994. Novel experimental systems for determining cellular competence, and determination. Págs 87 – 98. en: Davies, T. & B. Haissing (Eds) *Biology of adventitious root formation*. Plenum Press. New York.
- Monterrey Forestal. 1983. Report. Corporate Press Inc. Raleigh. USA. 66 p.
- Murillo, O. & Valerio, J. 1991. Melina (*Gmelina arborea*) especie de árbol de uso múltiple en América Central—Turrialba. Costa Rica. CATIE. 64 p.
- Murillo, O., Y. Badilla. & G. Obando. 2001. ¿Semillas versus propagación vegetativa: hacia dónde vamos? *Revista Forestal Latinoamericana* 16(30): 67-77.
- Murillo, O., J. L. Rojas. & Y. Badilla. 2003. Reforestación Clonal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. Costa Rica. 36p.
- Murillo, O 2004. Principios de silvicultura clonal. Págs 1 - 6 en: Conif (ed.). *Memorias “Seminario actualización en propagación y silvicultura clonal”*. Bogotá.
- Ogbonnaya, C. H., C. Marcellus. & L. C. Nwaigbo. 1992. Growth and wood properties of *Gmelina arborea* (Verbenaceae) seedlings grown under five soil moisture regimes. *American Journal of Botany*. 79(2) 128 – 132.
- Osorio, L. F. 2004. Provenance results of *Gmelina arborea* in southwest Colombia at three years of age. *New Forest*. 28: 179 – 185.
- Porta, C. J., M. L. Acevedo, C. Roquero. 1999. *Edafología para agricultura y medio ambiente*. Mundi Prensa. Madrid. 849 p

- Padua, F. M. 2004. Juvenile selection of *Gmelina arborea* clones in the Philippines. *New Forest*. 28: 195 – 200.
- Palmer, R. & F. Troeh. 1989. *Introducción a la Ciencia del Suelo. Manual de Laboratorio*. Editorial Calypso. Ciudad de México. 158 p.
- Pellegrino, A. E. Lebon. M. Voltz & J. Wery. 2004. Relationships between plant and soil water status in vine (*Vitis vinifera* L.). *Plant and Soil*. 266: 129 – 142.
- Peña, J. G., A. T. Ortega, I. A. Ramos, E. R. Basillo, N. R. Olivera. 2004. Alternativas agronómicas para la recuperación de suelos aldoneros degradados en las sabanas de Sucre, Región caribe. XVI Congreso Latinoamericano Ciencia de la Suelo. Cartagena
- Pérez, O. Z., M. R. Cigales, M. Orozco, K. Castro. 2004. Soil moisture tension and nitrogen fertilization on cantaloupe melon: Part II. *Agrociencia* 38: 261 – 272.
- Rachmawati, D & C. Hansen. 2002. Seed Leaflet *Gmelina arborea* Roxb. Indonesia Forest Seed Project. N° 16. 2p.
- Romero, J . L. 2004. A review of propagation programs for *Gmelina arborea*. *New Forest*. 28: 245 – 254.
- Rodríguez, M. 2004. Reforestación clonal en la Costa Atlántica. en: Conif (ed.). Seminario actualización en propagación y silvicultura clonal. Bogotá
- Sánchez, L. A. & J. L. Romero. 2004. Plantations of *Gmelina arborea* in southern Mexico. *New Forest*. 28: 331 – 337.
- Singer, M. & D. Munns. 1999. *Soil an Introduction*. Cuarta Edición. Prentice Hall. USA. 527 p.

Silva, L. R. 2002. Manual de prácticas laboratorio de suelos. Corporación de ciencias aplicadas y ambientales. Bogotá. 60p.

Soilmoisture. Soilmoisture Equipment Corp. [En línea]. 2004 <<http://www.soilmoisture.com>> [Consulta 15 Julio de 2004]

Soil survey division staff [En línea]. USDA. Octubre 1993. Soil Consevation service. <soils.usda.gov/technical/manual.htm> [Consulta 15 Septiembre de 2004]

Sourdis, S. P. 1990. La *Gmelina arborea*. Bosques & Futuro. 2: 10

Swiatek, A., A. Azmi, E. Witters, H. Oncklen. Stress messengers jasmonic acid and abscisic acid negatively regulate plant cell cycle. Bulg. Journal of Plant Physiology., Special issue: 172 – 178

Taiz, L. & E. Zeiger. 2002. Plant Physiology. Benjamin Cummings Pulb. Co., Redwood City, CA, USA. 559 p.

Türkiye Toprak Ilmi Dernegi. Ana Sayfana Dönüs. [En Linea]. Deparment of soil science, Samsun, Turkey, Ondokuz Mayıs University, Faculty of Agriculture. <http://www.toprak.org.tr/isd/isd_52.htm> [Consulta: 27 diciembre 2005].

Tyree, M., G. Vargas, B. Engelbrecht, T. Kusar. 2002. Drought until death do us part: a case study of the dessication - tolerante of a tropical moist forest seeding – tree, *Licania platypus* (Hemsl.) Fritsch. Journal Experimental of Botany. 53 (378): 2239 – 2247.

Tyree, M., G. Vargas, B. Engelbrecht, T. Kusar. 2003. Dessication tolerante of five tropical seeding in Panama. Relations to a field assessment of drought performance1. Plant Physiology. 132 (3): 1439

Urueña, H. 2004. Programa “Clon de Melina *Gmelina arborea* en MONTERREY FORESTAL LTDA. Págs 1 - 3 en: Conif (ed.). Memorias “Seminario actualización en propagación y silvicultura clonal”. Bogotá

Urrego, J. B. 2004. Growth potential of *Gmelina arborea* at 3 years of age in Colombia. *New Forest*. 28: 269 – 276.

Valverde, L. C., L. Alvarado, A. Hine. 2004. Micropropagation of clones from controlled crosses of *Gmelina arborea* in Costa Rica. *New Forest*. 28: 187 – 194.

Vasquez, W. & L. A. Ugalde. 1996. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinatum* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. Págs 7 – 13. en : Bertsch, F., W. Badilla. & E. Bornemisza. (eds). Puede la agricultura sostenible ser competitiva. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José. Costa Rica.

Veenendaal, M. D. Swaine. K. Agyeman. D. Blay. I. Abrebese & E. Mullins. 1995. Differences in plant and soil water relations in and around in forest gap in West African the dry season may influence seeding establishment and survival. *Journal of Ecology*. 83: 83 - 90

Wang, K., R. Zhang, F. Wang. 2005. Testing the pore – solid fractal model of the soil water retention function. *Soil Science Society of America Journal*. 69: 776 – 782

Wasserman, J & J. Neter. 1974. *Applied linear statistical models*. Richard D Irwin Inc. Homewood. USA. 842 p.

Wingfield, M. J. & D. J. Robison. 2004. Diseases and insect pests of *Gmelina arborea*: real threats and real opportunities. *New Forest*. 28: 227 – 243.

Zeaser, D. 1996. Comportamiento temprano de familias de progenies de Melina producido por polinización abierta entre clones de árboles plus en Huerto Semillero. III Taller Nacional Forestal y Agroforestal. Guanacaste. Costa Rica. 7p.

Zobel, B. & J. Talbert 1984. Applied forest tree improvement. John Wiley & Sons. USA. 505 p.

10. Anexos

Anexo A. Tratamientos utilizados en el experimento.

Unidades	VTNa	VTNa	VTCa	LGLb	LGLb	VTCa	LGLb	VTMa	VTMa
N° Clon	Casablanca	Bolívar	Nechi	Jurado	El Carmen	Casablanca	Bolívar	Casablanca	Casablanca
1	1	28	55	82	109	136	163	190	217
15	2	29	56	83	110	137	164	191	218
24	3	30	57	84	111	138	165	192	219
31	4	31	58	85	112	139	166	193	220
32	5	32	59	86	113	140	167	194	221
37	6	33	60	87	114	141	168	195	222
40	7	34	61	88	115	142	169	196	223
48	8	35	62	89	116	143	170	197	224
49	9	36	63	90	117	144	171	198	225
51	10	37	64	91	118	145	172	199	226
53	11	38	65	92	119	146	173	200	227
55	12	39	66	93	120	147	174	201	228
56	13	40	67	94	121	148	175	202	229
60	14	41	68	95	122	149	176	203	230
61	15	42	69	96	123	150	177	204	231
62	16	43	70	97	124	151	178	205	232
64	17	44	71	98	125	152	179	206	233
66	18	45	72	99	126	153	180	207	234
67	19	46	73	100	127	154	181	208	235
68	20	47	74	101	128	155	182	209	236
75	21	48	75	102	129	156	183	210	237
78	22	49	76	103	130	157	184	211	238
79	23	50	77	104	131	158	185	212	239
84	24	51	78	105	132	159	186	213	240
86	25	52	79	106	133	160	187	214	241
94	26	53	80	107	134	161	188	215	242
112	27	54	81	108	135	162	189	216	243

Anexo B. Prueba de normalidad para las tres variables de respuesta.

Variable punto de marchitez permanente

The UNIVARÍATE Procedure

Moments			
N	717	Sum Weights	717
Mean	64.2817294	Sum Observations	46090
Std Deviation	36.1473762	Variance	1306.63281
Skewness	0.53264038	Kurtosis	-0.5484154
Uncorrected SS	3898294	Corrected SS	935549.091
Coeff Variation	56.2327376	Std Error Mean	1.3499485

Basic Statistical Measures

Location		Variability	
Mean	64.28173	Std Deviation	36.14738
Median	59.00000	Variance	1307
Mode	99.00000	Range	168.00000
		Interquartile Range	58.00000

Tests for Normality

Test	--Statistic--	-----p Value-----	
Shapiro-Wilk	W 0.953506	Pr < W	<0.0001
Kolmogorov-Smirnov	D 0.088038	Pr > D	<0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq 1.345768	Pr > W-Sq	<0.0050
Anderson-Darling	A-Sq 8.996288	Pr > A-Sq	<0.0050

The UNIVARÍATE Procedure

Variable: logaritmo(punto marchitez permanente)

Tests for Normality

Test	--Statistic--	-----p Value-----	
Shapiro-Wilk	W 0.964108	Pr < W	<0.0001
Kolmogorov-Smirnov	D 0.076781	Pr > D	<0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq 1.233193	Pr > W-Sq	<0.0050
Anderson-Darling	A-Sq 7.584942	Pr > A-Sq	<0.0050

The UNIVARÍATE Procedure

Variable: raiz(punto marchitez permanente)

Tests for Normality

Test	--Statistic--	-----p Value-----	
Shapiro-Wilk	W 0.97759	Pr < W	<0.0001
Kolmogorov-Smirnov	D 0.060578	Pr > D	<0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq 0.631566	Pr > W-Sq	<0.005
Anderson-Darling	A-Sq 4.155554	Pr > A-Sq	<0.0050

Variable duración desde CC hasta PMP

The UNIVARÍATE Procedure

Moments			
N	717	Sum Weights	717
Mean	51.8214784	Sum Observations	37156
Std Deviation	19.7614668	Variance	390.515572
Skewness	0.32240091	Kurtosis	-0.092323
Uncorrected SS	2205088	Corrected SS	279609.149
Coeff Variation	38.1337381	Std Error Mean	0.7380055

Basic Statistical Measures

Location		Variability	
Mean	51.82148	Std Deviation	19.76147
Median	51.00000	Variance	390.51557
Mode	72.00000	Range	102.00000
		Interquartile Range	28.00000

Tests for Normality

Test	--Statistic--	----p Value-----
Shapiro-Wilk	W 0.984009	Pr < W <0.0001
Kolmogorov-Smirnov	D 0.043776	Pr > D <0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq 0.249091	Pr > W-Sq <0.0050
Anderson-Darling	A-Sq 2.025589	Pr > A-Sq <0.0050

The UNIVARÍATE Procedure
Variable: logaritmo(duracion-dias)

Tests for Normality

Test	--Statistic--	----p Value-----
Shapiro-Wilk	W 0.959118	Pr < W <0.0001
Kolmogorov-Smirnov	D 0.08709	Pr > D <0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq 1.323664	Pr > W-Sq <0.0050
Anderson-Darling	A-Sq 8.318194	Pr > A-Sq <0.0050

The UNIVARÍATE Procedure
Variable: Raiz(duracion-dias)

Tests for Normality

Test	--Statistic--	----p Value-----
Shapiro-Wilk	W 0.98854	Pr < W <0.0001
Kolmogorov-Smirnov	D 0.055044	Pr > D <0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq 0.35619	Pr > W-Sq <0.0050
Anderson-Darling	A-Sq 2.387066	Pr > A-Sq <0.0050

Variable porcentaje de humedad al PMP

The UNIVARÍATE Procedure
Moments

N	717	Sum Weights	717
Mean	25.3249651	Sum Observations	18158
Std Deviation	10.1219632	Variance	102.454138
Skewness	-0.1331673	Kurtosis	-0.8765673
Uncorrected SS	533207.88	Corrected SS	73357.1631
Coeff Variation	39.9683203	Std Error Mean	0.37801164

Basic Statistical Measures

Location		Variability	
Mean	25.32497	Std Deviation	10.12196
Median	27.40000	Variance	102.45414
Mode	20.40000	Range	43.70000
		Interquartile Range	15.60000

Tests for Normality

Test	--Statistic--	----p Value-----
Shapiro-Wilk	W 0.967105	Pr < W <0.0001
Kolmogorov-Smirnov	D 0.089014	Pr > D <0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq 1.373149	Pr > W-Sq <0.0050
Anderson-Darling	A-Sq 7.715578	Pr > A-Sq <0.0050

The UNIVARÍATE Procedure
Variable: logaritmo(humedad)

Tests for Normality

Test	--Statistic--	-----p Value-----
Shapiro-Wilk	W 0.907058	Pr < W <0.0001
Kolmogorov-Smirnov	D 0.162818	Pr > D <0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq 4.251708	Pr > W-Sq <0.0050
Anderson-Darling	A-Sq 24.03063	Pr > A-Sq <0.0050

The UNIVARÍATE Procedure
Variable: raiz(humedad)

Tests for Normality

Test	--Statistic--	-----p Value-----
Shapiro-Wilk	W 0.947543	Pr < W <0.0001
Kolmogorov-Smirnov	D 0.128443	Pr > D <0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq 2.455481	Pr > W-Sq <0.0050
Anderson-Darling	A-Sq 13.50978	Pr > A-Sq <0.0050

Anexo C. Análisis de varianza para la tensión de humedad al punto de marchitez permanente por grupos de siembra.

Análisis de varianza para el grupo 1

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Subgrupos	71	172163.167	2424.8333		
(b)CLON	7	24438.7963	3491.25661	4.50	0.0123
(a)lote	8	48387.0833	6048.38542	7.80	<.0001
(a*b)lote*CLON	56	99337.287	1773.88013	2.28	0.0155
Error	144	11630.667	775.212963		
Total	215	283793.833			

Análisis de varianza para el grupo 2

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Subgrupos	71	147843.333	2082.30047		
(b)CLON	7	18794.0741	2684.86772	3.67	0.0123
(a)lote	8	22608.5833	2826.07292	3.6	0.0155
(a*b)lote*CLON	56	106440.676	1900.72636	2.60	0.0195
Error	144	105254.667	730.9351		
Total	215	253098			

Análisis de varianza para el grupo 3

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Subgrupos	35	73946.5463	2112.75847		
(b)CLON	3	2800.5463	933.515432	0.89	0.2989
(a)lote	8	22447.963	2805.99537	2.68	0.0155
(a*b)lote*CLON	24	48698.037	2029.0848	1.94	0.5988
Error	72	75224.667	1044.78704		
Total	107	14171.213			

Análisis de varianza para el grupo 4

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Subgrupos	62	148313.915	2392.15992		
(b)CLON	6	13977.619	2329.60317	2.32	0.0153
(a)lote	8	30666.3915	3833.29894	3.82	0.0155
(a*b)lote*CLON	48	103669.905	2159.78968	2.15	0.0122
Error	126	126146.667	1001.16402		
Total	188	274460.582			

Anexo D. Análisis de varianza para la tensión de humedad al punto de marchitez permanente.

Dependent Variable: pmp Punto marchitez Permanente.(centibares)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	238	514999.7573	2163.8645	2.46	<.0001
Error	478	420549.3333	879.8103		
Corrected Total	716	935549.0907			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.550479	46.14312	29.66160	64.28173

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Lote	8	17419.6709	2177.4589	2.47	0.0123
CLON	26	80319.6913	3089.2189	3.51	<.0001
Lote*CLON	204	417260.3951	2045.3941	2.32	<.0001

Anexo E. Valores de las tres repeticiones del punto de marchitez permanente para los tratamientos de las nueve unidades cartográficas - series de suelo

Valores de las tres repeticiones del punto de marchitez permanente para los tratamientos de la unidad VTNa - Serie Casablanca – rt.

Tratamientos	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
1	27	37	13
2	54	87	15
3	101	112	74
4	37	66	29
5	24	60	57
6	88	148	110
7	22	99	53
8	100	103	33
9	59	96	78
10	123	152	136
11	92	127	72
12	53	94	84
13	102	109	16
14	28	48	36
15	88	60	56
16	27	81	36
17	14	69	40
18	31	59	27
19	73	103	63
20	38	66	19
21	50	79	16
22	14	41	35
23	32	93	45
24	19	19	35
25	19	64	26
26	104	138	37
27	56	138	78

Valores de las tres repeticiones del punto de marchitez permanente para los tratamientos de la unidad VTCa – Serie Bolívar.

Tratamientos	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
28	82	54	36
29	78	80	52
30	106	152	130
31	29	49	26
32	43	99	96
33	69	99	84
34	56	83	45
35	56	89	41
36	98	118	108
37	20	71	25
38	22	164	31
39	16	33	29
40	80	138	32
41	26	42	26
42	66	60	29
43	80	126	85
44	40	79	60
45	93	116	105
46	40	118	83
47	40	46	46
48	17	88	67
49	69	37	11
50	19	22	12
52	25	100	76
53	122	136	129
54	82	54	36

Valores de las tres repeticiones del punto de marchitez permanente para los tratamientos de la unidad VTCa - Serie Nechi - fp.

Tratamientos	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
55	31	57	73
56	63	90	88
57	69	93	65
58	26	99	42
59	27	27	27
60	35	106	16
61	122	133	110
62	29	40	38
63	94	112	99
64	28	34	26
65	61	67	65
66	96	133	56
67	99	99	79
68	61	61	61
70	38	104	69
71	99	99	88
72	66	100	57
73	41	93	92
74	47	65	38
75	90	110	67
76	35	73	59
77	35	152	73
78	79	140	109
79	59	73	66
80	16	100	77
81	21	76	62

Valores de las tres repeticiones del punto de marchitez permanente para los tratamientos de la unidad LGLb - Serie Jurado – up.

Tratamientos	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
82	43	59	80
83	37	49	73
84	35	20	57
85	37	68	40
86	99	119	123
87	66	11	49
88	29	63	39
89	37	33	115
90	30	27	61
91	40	23	56
92	31	26	54
93	21	54	150
94	18	49	40
95	19	30	35
96	20	19	63
97	35	55	55
98	76	76	95
99	51	21	60
100	14	48	17
101	39	29	80
102	76	60	93
103	27	27	37
104	100	69	109
105	99	60	101
106	17	44	47
107	58	90	64
108	24	31	81

Valores de las tres repeticiones del punto de marchitez permanente para los tratamientos de la unidad LGLb - Serie El Carmen.

Tratamientos	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
109	73	15	78
110	73	117	80
111	100	144	55
112	20	94	72
113	25	117	78
114	45	45	36
115	29	99	40
116	77	78	44
117	20	34	10
118	24	103	43
119	59	126	74
120	89	99	72
121	35	106	11
122	33	82	35
123	18	69	19
124	54	54	37
125	68	93	68
126	45	89	32
127	44	139	100
128	63	91	73
130	71	128	65
131	21	80	58
132	59	126	99
133	34	94	46
134	80	138	59
135	82	121	27

Valores de las tres repeticiones del punto de marchitez permanente para los tratamientos de la unidad VTCa – Serie Casablanca.

Tratamientos	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
136	43	104	79
137	38	132	65
138	39	62	50
139	20	99	43
140	30	106	35
141	34	95	44
142	49	155	12
143	26	114	110
144	14	53	50
145	27	53	23
146	72	141	107
147	22	84	43
148	33	89	56
149	60	77	34
150	79	178	82
151	99	113	69
152	43	50	16
153	33	58	40
154	42	82	69
155	69	86	49
156	27	30	30
157	101	114	106
158	93	94	77
159	81	91	80
160	46	94	33
161	23	95	70
162	23	95	70

Valores de las tres repeticiones del punto de marchitez permanente para los tratamientos de la unidad LGLB – Serie Bolívar – rt.

Tratamientos	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
163	50	102	91
164	34	120	52
165	54	129	63
166	23	24	21
167	27	27	27
168	56	147	17
169	62	80	62
170	20	80	52
171	14	40	38
172	24	78	21
173	32	63	47
174	11	12	14
175	80	100	54
176	18	53	35
177	19	99	99
178	26	79	57
179	23	95	80
180	65	151	127
181	62	91	50
182	41	129	109
183	102	110	18
184	121	147	115
185	20	84	35
186	67	99	37
187	53	67	63
188	12	51	23
189	20	52	45

Valores de las tres repeticiones del punto de marchitez permanente para los tratamientos de la unidad VTNa- Casablanca.

Tratamientos	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
190	44	117	55
191	62	66	38
192	135	160	129
193	19	62	39
194	19	62	39
195	30	50	23
196	23	99	63
197	23	59	37
198	20	58	25
199	38	48	15
200	68	112	32
201	25	93	67
202	121	149	142
203	14	85	42
205	120	141	120
206	21	146	15
207	57	86	59
208	66	138	134
209	85	150	82
210	90	99	30
211	15	69	34
212	24	37	14
213	20	138	21
214	109	122	118
215	112	117	70
216	30	40	24

Valores de las tres repeticiones del punto de marchitez permanente para los tratamientos de la unidad VTMa – Casablanca.

Tratamientos	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
217	46	55	14
218	33	74	23
219	73	115	109
220	11	59	38
221	74	117	32
222	49	82	82
223	113	133	50
224	29	44	20
225	29	48	42
226	34	34	34
227	98	100	98
228	59	87	20
229	57	99	70
230	43	114	113
231	30	88	43
232	103	121	33
233	85	99	49
234	71	103	21
235	107	131	110
236	19	20	17
237	93	156	79
238	11	86	18
239	19	45	14
240	56	90	25
241	82	100	22
242	59	119	16
243	27	33	13

Anexo F. Análisis de varianza del punto de marchitez permanente para los clones.

Clon 1

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	7470.96296	933.87037	1.31	0.2989
Error	18	12814.66667	711.92593		
Corrected Total	26	20285.62963			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.368288	46.23956	26.68194	57.70370

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
lote	8	7470.962963	933.870370	1.31	0.2989

Clon 15

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	5844.66667	730.58333	0.82	0.5958
Error	18	16047.33333	891.51852		
Corrected Total	26	21892.00000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.266977	45.46950	29.85831	65.66667

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
lote	8	5844.666667	730.583333	0.82	0.5958

Clon 31

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	3602.74074	450.34259	0.63	0.7430
Error	18	12878.66667	715.48148		
Corrected Total	26	16481.40741			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.218594	60.58801	26.74849	44.14815

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
lote	8	3602.740741	450.342593	0.63	0.7430

Clon 37

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	15581.33333	1947.66667	1.70	0.1658
Error	18	20593.33333	1144.07407		
Corrected Total	26	36174.66667			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.430725	53.21984	33.82416	63.55556

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
lote	8	15581.33333	1947.66667	1.70	0.1658

Clon 40

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	13991.33333	1748.91667	1.24	0.3316
Error	18	25353.33333	1408.51852		
Corrected Total	26	39344.66667			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.355609	52.69456	37.53023	71.22222

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
lote	8	13991.33333	1748.91667	1.24	0.3316

Clon 48

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	8300.00000	1037.50000	1.09	0.4130
Error	18	17124.66667	951.37037		
Corrected Total	26	25424.66667			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.326455	54.53804	30.84429	56.55556

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
lote	8	8300.00000	1037.50000	1.09	0.4130

Clon 53

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	13563.85185	1695.48148	1.32	0.2975
Error	18	23206.66667	1289.25926		
Corrected Total	26	36770.51852			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.368878	47.49970	35.90626	75.59259

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
lote	8	13563.85185	1695.48148	1.32	0.2975

Clon 55

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	18028.07407	2253.50926	2.03	0.1015
Error	18	20005.33333	1111.40741		
Corrected Total	26	38033.40741			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.474006	55.70049	33.33778	59.85185

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
lote	8	18028.07407	2253.50926	2.03	0.1015

Clon 60

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	8904.66667	1113.08333	2.12	0.0890
Error	18	9468.00000	526.00000		
Corrected Total	26	18372.66667			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.484669	47.23392	22.93469	48.55556

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
lote	8	8904.66667	1113.08333	2.12	0.0890

Clon 61

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	6	13229.90476	2204.98413	1.84	0.1637
Error	14	16820.66667	1201.47619		
Corrected Total	20	30050.57143			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.440255	56.69070	34.66232	61.14286

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
lote	6	13229.90476	2204.98413	1.84	0.1637

Clon 64

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	8830.74074	1103.84259	1.06	0.4336
Error	18	18814.66667	1045.25926		
Corrected Total	26	27645.40741			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.319429	48.87585	32.33047	66.14815

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
lote	8	8830.740741	1103.842593	1.06	0.4336

Clon 66

Source	DF	Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	17124.74074	2140.59259	3.03	0.0243
Error	18	12732.00000	707.33333		
Corrected Total	26	29856.74074			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.573564	39.39029	26.59574	67.51852

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
lote	8	17124.74074	2140.59259	3.03	0.0243

Clon 75

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	7	12937.29167	1848.18452	1.69	0.1819
Error	16	17499.33333	1093.70833		
Corrected Total	23	30436.62500			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.425057	47.32918	33.07126	69.87500

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
lote	7	12937.29167	1848.18452	1.69	0.1819

Clon 79

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	20178.66667	2522.33333	3.00	0.0252
Error	18	15143.33333	841.29630		
Corrected Total	26	35322.00000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.571278	53.05812	29.00511	54.66667

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
lote	8	20178.66667	2522.33333	3.00	0.0252

Clon 84

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	7	14783.83333	2111.97619	1.81	0.1545
Error	16	18688.00000	1168.00000		
Corrected Total	23	33471.83333			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.441680	46.86996	34.17601	72.91667

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
lote	7	14783.83333	2111.97619	1.81	0.1545

Clon 94

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	19761.33333	2470.16667	1.91	0.1206
Error	18	23242.66667	1291.25926		
Corrected Total	26	43004.00000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.459523	45.87331	35.93410	78.33333

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
lote	8	19761.33333	2470.16667	1.91	0.1206

Clon 112

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	11698.74074	1462.34259	1.64	0.1829
Error	18	16070.66667	892.81481		
Corrected Total	26	27769.40741			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.421282	54.47402	29.88001	54.85185

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
lote	8	11698.74074	1462.34259	1.64	0.1829

. Clon 24

The GLM Procedure

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	27016.29630	3377.03704	5.01	0.0022
Error	18	12126.66667	673.70370		
Corrected Total	26	39142.96296			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.690195	28.82792	25.95580	90.03704

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
lote	8	27016.29630	3377.03704	5.01	0.0022

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for pmp

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	673.7037
Critical Value of Studentized Range	4.95521
Minimum Significant Difference	74.257

Tratamientos	N	PMP
3	3	95.67 ab
30	3	129.33 a
57	3	75.67 ab
84	3	37.33 b
111	3	50.33 b
138	3	99.67 ab
165	3	82.00 ab
192	3	141.33 a
219	3	99.00 ab

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes Alpha 0.05

Clon 49

The GLM Procedure

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	25165.62963	3145.70370	12.70	<.0001
Error	18	4458.66667	247.70370		
Corrected Total	26	29624.29630			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.849493	28.80965	15.73861	54.62963

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
lote	8	25165.62963	3145.70370	12.70	<.0001

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for pmp

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	247.7037
Critical Value of Studentized Range	4.95521
Minimum Significant Difference	45.026

Tratamientos	N	PMP
9	3	77.67 ab
36	3	108.00 a
63	3	101.67 a
90	3	39.33 bc
117	3	21.33 c
144	3	39.00 bc
171	3	30.67 c
198	3	34.33 bc
225	3	39.67 bc

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes Alpha 0.05

Clon 51

The GLM Procedure

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	27364.29630	3420.53704	6.73	0.0004
Error	18	9144.00000	508.00000		
Corrected Total	26	36508.29630			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.749536	45.65260	22.53886	49.37037

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
lote	8	27364.29630	3420.53704	6.73	0.0004

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for pmp

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	508
Critical Value of Studentized Range	4.95521
Minimum Significant Difference	64.481

Tratamientos	N	PMP
10	3	137.00 a
37	3	38.67 b
64	3	29.33 b
91	3	39.67 b
118	3	56.67 b
145	3	34.33 b
172	3	41.00 b
199	3	33.67 b
226	3	34.00 b

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes Alpha 0.05

Clon 56

The GLM Procedure

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	19895.18519	2486.89815	2.17	0.0825
Error	18	20653.33333	1147.40741		
Corrected Total	26	40548.51852			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.490651	44.33262	33.87340	76.40741

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
lote	8	19895.18519	2486.89815	2.17	0.0825

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for pmp

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	1147.407
Critical Value of Studentized Range	4.95521
Minimum Significant Difference	96.908

Tratamientos	N	PMP
13	3	75.67 ab
40	3	83.33 ab
67	3	92.33 ab
94	3	35.67 b
121	3	50.67 ab
148	3	59.33 ab
175	3	78.00 ab
202	3	137.33 a
229	3	75.33 ab

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes Alpha 0.05

Clon 62

The GLM Procedure

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	18790.29630	2348.78704	3.35	0.0158
Error	18	12633.33333	701.85185		
Corrected Total	26	31423.62963			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.597967	35.46342	26.49249	74.70370

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
lote	8	18790.29630	2348.78704	3.35	0.0158

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for pmp

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	701.8519
Critical Value of Studentized Range	4.95521
Minimum Significant Difference	75.792

Tratamientos	N	PMP
16	3	48.00 b
43	3	97.00 ab
70	3	70.33 ab
97	3	48.33 b
124	3	48.33 b
151	3	93.67 ab
178	3	54.00 ab
205	3	127.00 a
232	3	85.67 ab

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes Alpha 0.05

Clon 67

The GLM Procedure

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	17600.96296	2200.12037	2.43	0.0561
Error	18	16295.33333	905.29630		
Corrected Total	26	33896.29630			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.519259	37.78511	30.08814	79.62963

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
lote	8	17600.96296	2200.12037	2.43	0.0561

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for pmp

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	905.2963
Critical Value of Studentized Range	4.95521
Minimum Significant Difference	86.079

Tratamientos	N	PMP
19	3	79.67 ab
46	3	80.33 ab
73	3	75.33ab
100	3	67.67 ab
127	3	26.33 b
154	3	94.33 ab
181	3	64.33 ab
208	3	112.67 a
235	3	116.00 a

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes Alpha 0.05

Clon 68

The GLM Procedure

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	18059.85185	2257.48148	3.60	0.0114
Error	18	11282.66667	626.81481		
Corrected Total	26	29342.51852			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.615484	41.31903	25.03627	60.59259

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
lote	8	18059.85185	2257.48148	3.60	0.0114

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for pmp

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	626.8148
Critical Value of Studentized Range	4.95521
Minimum Significant Difference	71.626

Tratamientos	N	PMP
20	3	41.00 ab
47	3	44.00 ab
74	3	50.00 ab
101	3	49.33 ab
128	3	75.67 ab
155	3	68.00 ab
182	3	93.00 a
209	3	105.67 a
236	3	18.67 b

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes Alpha 0.05

Clon 86

The GLM Procedure

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	13175.85185	1646.98148	2.40	0.0588
Error	18	12360.00000	686.66667		
Corrected Total	26	25535.85185			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.515975	41.64313	26.20433	62.92593

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
lote	8	13175.85185	1646.98148	2.40	0.0588

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for pmp

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	686.6667
Critical Value of Studentized Range	4.95521
Minimum Significant Difference	74.968

Tratamientos	N	PMP
25	3	36.33 b
52	3	66.00 ab
79	3	67.00 ab
106	3	36.00 b
133	3	58.00 ab
160	3	57.67 ab
187	3	61.00 ab
214	3	116.33 a
241	3	68.00 ab

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes Alpha 0.05

Anexo G. Análisis de los componentes de la varianza para los clones que mostraron diferencias significativas.

Clones	24	32	49	51	56	62	67	68	78	86
Porcentaje de variación al interior de los tratamientos	42.77	62.78	20.40	34.35	71.98	47.26	67.71	53.55	34.85	68.20
Porcentaje de variación entre los tratamientos	57.22	37.21	79.59	65.64	28.01	52.73	32.28	46.44	65..14	37.79

Anexo H. Análisis de varianza del punto de marchitez permanente para las diferentes unidades cartográficas – series de suelo

Análisis de varianza para la unidad LGLb - Serie El Carmen

Number of observations 81

NOTE: Due to missing values, only 78 observations can be used in this analysis.
The GLM Procedure

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	25	32002.37179	1280.09487	1.18	0.3046
Error	52	56628.00000	1089.00000		
Corrected Total	77	88630.37179			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.361077	49.18785	33.00000	67.08974

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
CLON	25	32002.37179	1280.09487	1.18	0.3046

Análisis de varianza para la unidad VTCa – Casablanca

Number of observations 81

The GLM Procedure

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	26	39608.88889	1523.41880	1.42	0.1364
Error	54	57814.66667	1070.64198		
Corrected Total	80	97423.55556			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean
0.406564	49.52119	32.72067	66.07407

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
CLON	26	39608.88889	1523.41880	1.42	0.1364

Análisis de varianza para la unidad VTNa - Serie Casablanca - rt

Number of observations		81				
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	26	64055.5556	2463.6752	3.07	0.0003	
Error	54	43396.6667	803.6420			
Corrected Total	80	107452.2222				
R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean			
0.596131	44.65646	28.34858	63.48148			
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
CLON	26	64055.55556	2463.67521	3.07	0.0003	

Análisis de varianza para la unidad VTCa – Serie Bolívar

Number of observations		81				
NOTE: Due to missing values, only 78 observations can be used in this analysis. The GLM Procedure						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	25	68435.1282	2737.4051	3.49	<.0001	
Error	52	40836.6667	785.3205			
Corrected Total	77	109271.7949				
R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean			
0.626284	41.85826	28.02357	66.94872			
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
CLON	25	68435.12821	2737.40513	3.49	<.0001	

Análisis de varianza para la unidad VTCa - Serie Nechi - fp

Number of observations		81				
NOTE: Due to missing values, only 78 observations can be used in this analysis. The GLM Procedure						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	
Model	25	42968.37179	1718.73487	2.58	0.0020	
Error	52	34634.66667	666.05128			
Corrected Total	77	77603.03846				
R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean			
0.553694	36.56715	25.80797	70.57692			
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F	
CLON	25	42968.37179	1718.73487	2.58	0.0020	

Análisis de varianza para la unidad LGLb - Serie Jurado – up

Number of observations 81
The GLM Procedure

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	26	38375.87654	1475.99525	2.56	0.0018
Error	54	31154.66667	576.93827		
Corrected Total	80	69530.54321			
R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean		
0.551928	45.12019	24.01954	53.23457		
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
CLON	26	38375.87654	1475.99525	2.56	0.0018

Análisis de varianza para la unidad LGLB – Serie Bolívar – rt

Number of observations 81
The GLM Procedure

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	26	57727.4321	2220.2858	2.24	0.0063
Error	54	53602.6667	992.6420		
Corrected Total	80	111330.0988			
R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean		
0.518525	52.11362	31.50622	60.45679		
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
CLON	26	57727.43210	2220.28585	2.24	0.0063

Análisis de varianza para la unidad VTNa - Casablanca

Number of observations 81

NOTE: Due to missing values, only 78 observations can be used in this analysis.
The GLM Procedure

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	25	93271.1282	3730.8451	3.65	<.0001
Error	52	53188.6667	1022.8590		
Corrected Total	77	146459.7949			
R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean		
0.636838	46.54121	31.98217	68.71795		
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
CLON	25	93271.12821	3730.84513	3.65	<.0001

Análisis de varianza para la unidad VTMa - Casablanca

Number of observations 81
The GLM Procedure

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	26	61135.3333	2351.3590	2.58	0.0017
Error	54	49292.6667	912.8272		
Corrected Total	80	110428.0000			
R-Square	Coeff Var	Root MSE	pmp Mean		
0.553622	48.29792	30.21303	62.55556		
Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
CLON	26	61135.33333	2351.35897	2.58	0.0017

Anexo I. Análisis de varianza para la duración desde el punto de capacidad de campo hasta el punto de marchitez permanente.

Dependent Variable: dur Duracion (dias)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	238	164724.4826	692.1197	2.88	<.0001
Error	478	114884.6667	240.3445		
Corrected Total	716	279609.1492			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	dur Mean
0.589124	29.91626	15.50305	51.82148

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
lote	8	8106.9778	1013.3722	4.22	<.0001
CLON	26	38910.3822	1496.5532	6.23	<.0001
lote*CLON	204	117707.1225	576.9957	2.40	<.0001

Anexo J. Correlación de pearson para las diferentes variables de estudio

Simple Statistics

Variable	Label
pmp	Punto marchitez perm.(centibares)
dur	Duracion (dias)
hum	Humedad al PMP(porc)

Pearson Correlation Coefficients, N = 717
 Prob > |r| under H0: Rho=0

	pmp	dur	hum
pmp Punto marchitez perm.(centibares)	1.00000	0.46624 <.0001	-0.15175 <.0001
dur Duracion (dias)	0.46624 <.0001	1.00000	-0.01532 0.6822
hum Humedad al PMP(porc)	-0.15175 <.0001	-0.01532 0.6822	1.00000

Anexo K. Anavas y valores de cada repetición de la duración desde el CC. hasta el PMP para las nueve unidades cartograficas – series de suelo.

Análisis de varianza para la unidad VTNa - Serie Casablanca - rt

Number of observations	81			
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value
Model	26	33762.8	1298.57	7.709
Error	54	9096.0	168.444444	
Corrected Total	80	42858.8		

Tratamientos	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio	Desviación estándar
1	14	27	14	18	7.50
2	56	68	49	58	9.60
3	67	67	67	67	0
4	44	59	49	51	7.63
5	49	72	59	60	11.53
6	43	43	43	43	0
7	30	72	72	58	24.24
8	78	101	78	86	13.27
9	45	74	74	64	16.74
10	109	109	109	109	0
11	66	83	66	72	9.81
12	72	72	60	68	6.92
13	42	64	16	41	24.02
14	70	77	77	75	4.04
15	51	64	60	58	6.65
16	18	48	25	30	15.69
17	44	64	18	42	23.06
18	23	23	23	23	0
19	53	75	52	60	13
20	14	37	18	23	12.28
21	66	66	44	59	12.70
22	15	36	27	26	10.53
23	42	48	37	42	5.50
24	30	72	24	42	26.15
25	26	50	28	35	13.31
26	75	75	59	70	9.23
27	49	59	59	56	5.77

Análisis de varianza para la unidad VTCa – Serie Bolívar

Number of observations 81

NOTE: Due to missing values, only 78 observations can be used in this analysis.
The GLM Procedure

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value
Model	25	24358.7	974.35	3.838
Error	52	13202.0	253.884615	
Corrected Total	77	37560.7		

Tratamientos	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio	Desviación estándar
28	56	38	39	44	10.11
29	94	94	49	79	25.98
30	67	79	79	75	6.92
31	44	72	44	53	16.16
32	47	48	47	47	0.57
33	63	64	63	63	0.57
34	45	47	45	46	1.15
35	39	72	51	54	16.70
36	45	74	59	59	14.50
37	30	44	44	39	8.08
38	17	42	17	25	14.43
39	22	72	26	40	27.78
40	41	64	41	49	13.27
41	20	20	70	37	28.86
42	33	30	30	31	1.73
43	48	57	48	51	5.19
44	44	65	44	51	12.12
45	51	74	51	59	13.27
46	25	62	62	50	21.39
47	21	31	25	26	5.03
48	65	66	43	58	13
49	15	75	40	43	30.13
50	30	72	38	47	22.30
52	28	54	54	45	15.01
53	75	94	94	88	10.96
54	70	77	49	65	14.57

Análisis de varianza para la unidad VTCa - Serie Nechi - fp

Number of observations 81

NOTE: Due to missing values, only 78 observations can be used in this analysis.
The GLM Procedure

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value
Model	25	20367.3	814.69	3.199
Error	52	13242.7	254.666667	
Corrected Total	77	33610.0		

Tratamientos	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio	Desviación estándar
55	29	29	29	29	0
56	49	58	49	52	5.19
57	31	67	57	52	18.58
58	35	72	49	52	18.68
59	61	55	31	49	15.87
60	22	64	43	43	21.50
61	54	69	39	54	15
62	72	107	72	84	20.20
63	41	41	41	41	0
64	37	37	37	37	0
65	42	42	28	37	8.08
66	72	72	72	72	0
67	62	63	62	62	0.57
68	49	49	49	49	0
70	28	60	48	45	16.16
71	63	63	63	63	0
72	51	105	24	60	41.24
73	39	62	62	54	13.27
74	21	25	25	24	2.30
75	43	65	36	48	15.13
76	28	28	28	28	0
77	37	72	37	49	28.29
78	43	93	42	59	29.16
79	44	53	44	47	5.19
80	35	73	22	43	26.50
81	34	49	25	36	12.12

Análisis de varianza para la unidad LGLb - Serie Jurado – up

Number of observations	81			
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value
Model	26	12212.0	469.69	2.211
Error	54	11470.0	212.407407	
Corrected Total	80	23682.0		

Tratamientos	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio	Desviación estándar
82	27	38	27	31	6.35
83	49	49	49	49	0
84	31	67	31	43	20.78
85	45	45	45	45	7.50
86	49	67	67	61	10.39
87	53	50	29	44	13.07
88	60	64	54	59	5.03
89	24	51	51	42	15.58
90	59	115	59	78	32.33
91	39	39	37	38	1.15
92	50	50	50	50	0
93	23	58	49	43	18.17
94	31	31	31	31	0
95	49	50	24	41	14.73
96	30	66	66	54	20.78
97	28	81	48	52	26.76
98	51	54	54	53	1.73
99	26	51	27	35	14.15
100	39	48	40	42	4.93
101	13	41	25	26	14.04
102	66	66	66	66	0
103	16	40	27	28	12.01
104	41	72	67	60	16.64
105	42	45	45	44	1.73
106	54	90	57	67	19.97
107	32	51	39	41	9.60
108	28	75	36	46	25.14

Análisis de varianza para la unidad LGLb - Serie El Carmen

Number of observations 81

NOTE: Due to missing values, only 78 observations can be used in this analysis.
The GLM Procedure

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value
Model	25	18217.6	728.70	2.626
Error	52	14428.0	277.461538	
Corrected Total	77	32645.6		

Tratamientos	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio	Desviación estándar
109	36	36	15	29	12.12
110	36	49	49	45	7.50
111	80	97	60	79	18.52
112	72	72	72	72	0
113	31	72	72	58	23.67
114	62	62	36	53	15.01
115	31	72	72	58	23.67
116	39	72	39	50	19.05
117	45	68	74	62	15.30
118	63	63	40	55	13.27
119	42	83	66	64	20.59
120	60	72	64	65	6.11
121	25	62	52	46	19.13
122	72	57	24	51	24.55
123	72	60	30	54	21.63
124	48	48	40	45	4.61
125	70	70	43	61	15.58
126	65	72	51	63	10.69
127	92	92	37	74	31.75
128	41	41	33	38	4.61
130	36	47	40	41	5.57
131	27	72	60	53	23.30
132	61	72	55	63	8.62
133	45	53	53	50	4.61
134	51	51	51	51	0
135	28	75	59	54	23.89

Análisis de varianza para la unidad VTCa – Casablanca

Number of observations	81			
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value
Model	26	8900.2	342.32	1.470
Error	54	12577.3	232.91358	
Corrected Total	80	21477.6		

Tratamientos	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio	Desviación estándar
136	41	41	55	46	8.08
137	71	75	75	74	2.30
138	52	63	57	57	5.50
139	31	52	55	46	13.07
140	47	64	72	61	12.76
141	61	36	62	53	14.73
142	20	39	72	44	26.31
143	39	39	107	62	39.25
144	42	46	74	54	17.43
145	37	37	37	37	0
146	83	65	83	77	10.39
147	31	40	70	47	20.42
148	62	30	84	59	27.15
149	49	63	71	61	11.13
150	72	72	72	72	0
151	60	49	60	56	6.35
152	68	35	69	57	19.34
153	70	65	75	70	5
154	23	61	61	48	21.93
155	33	41	71	48	20.03
156	35	60	60	52	14.43
157	41	55	55	50	8.08
158	38	47	39	41	4.93
159	72	72	72	72	0
160	45	45	54	48	5.19
161	59	73	73	68	8.08
162	56	56	56	56	0

Análisis de varianza para la unidad LGLb – Serie Bolívar – rt

Number of observations	81			
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value
Model	26	15425.6	593.29	2.110
Error	54	15184.7	281.197531	
Corrected Total	80	30610.2		

Tratamientos	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio	Desviación estándar
163	43	74	74	64	17.89
164	49	49	18	39	17.89
165	36	79	24	46	28.91
166	39	72	31	47	21.73
167	31	31	31	31	0
168	42	42	42	42	0
169	67	72	72	70	2.88
170	72	107	18	66	44.83
171	59	59	51	56	4.61
172	30	74	44	49	22.47
173	14	29	15	19	8.38
174	26	26	26	26	0
175	41	80	59	60	19.51
176	60	71	49	60	11
177	31	55	55	47	13.85
178	18	40	40	33	12.70
179	69	69	68	69	0.57
180	74	75	65	71	5.50
181	22	46	38	35	12.22
182	30	53	53	45	13.27
183	43	44	26	38	10.11
184	55	75	41	57	17.08
185	27	49	31	36	11.71
186	60	72	39	57	16.70
187	45	45	29	40	9.23
188	17	73	37	42	28.37
189	28	49	35	37	10.69

Análisis de varianza para la unidad VTNa – Casablanca

Number of observations 81

NOTE: Due to missing values, only 78 observations can be used in this analysis.
The GLM Procedure

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value
Model	25	29302.7	1172.11	3.577
Error	52	17039.3	327.679487	
Corrected Total	77	46342.0		

Tratamientos	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio	Desviación estándar
190	34	40	34	36	3.46
191	21	110	21	51	51.38
192	97	97	79	91	10.39
193	31	58	31	40	15.58
194	31	58	31	40	15.58
195	45	58	58	54	7.50
196	60	60	45	55	8.66
197	28	72	59	53	22.60
198	46	74	59	60	14.01
199	74	74	74	74	0
200	15	51	42	36	18.73
201	27	72	72	57	25.98
202	58	58	50	55	4.61
203	24	59	24	36	20.20
205	81	81	62	75	10.96
206	33	67	43	48	17.47
207	51	65	27	48	19.21
208	46	92	92	77	26.55
209	41	53	52	49	6.65
210	59	60	59	59	0.57
211	16	39	16	24	13.27
212	41	57	41	46	9.23
213	55	61	55	57	3.46
214	90	90	90	90	0
215	51	110	51	71	34.06
216	59	59	59	59	0

Análisis de varianza para la unidad VTMa - Casablanca

Number of observations	81			
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value
Model	26	25632.5	985.86	6.909
Error	54	7705.3	142.691358	
Corrected Total	80	33337.8		

Tratamientos	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio	Desviación estándar
217	34	34	14	27	11.54
218	59	70	21	50	25.70
219	67	97	97	87	17.32
220	15	44	16	25	16.46
221	39	45	40	41	3.21
222	57	58	58	58	0.57
223	67	92	66	75	14.73
224	38	51	51	47	7.50
225	43	46	46	45	1.73
226	40	40	32	37	4.61
227	83	83	83	83	0
228	31	55	37	41	12.48
229	52	59	58	56	3.78
230	49	59	49	52	5.77
231	61	62	54	59	4.35
232	40	60	60	53	11.54
233	54	57	54	55	1.73
234	51	51	51	51	0
235	92	92	61	82	17.89
236	15	15	15	15	0
237	43	44	43	43	0.57
238	36	58	15	36	21.50
239	39	72	39	50	19.05
240	72	72	72	72	0
241	90	90	53	78	21.36
242	51	73	73	66	12.70
243	36	49	49	45	7.50

Anexo L. Análisis de varianza para el porcentaje de humedad al punto de marchitez permanente.

Dependent Variable: hum Humedad al PMP(porc)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	238	66320.27646	278.65662	18.93	<.0001
Error	478	7036.88667	14.72152		
Corrected Total	716	73357.16312			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	hum Mean
0.904074	15.15052	3.836863	25.32497

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
lote	8	60983.57232	7622.94654	517.81	<.0001
CLON	26	976.12325	37.54320	2.55	<.0001
lote*CLON	204	4360.58088	21.37540	1.45	0.0006

Anexo M. Análisis de varianza para el porcentaje de humedad en las nueve unidades cartográficas – series de suelo.

Análisis de varianza para la unidad VTNa - Serie Casablanca - rt

Number of observations	81			
		Sum of		
Source	DF	Squares	Mean Square	F Value
Model	26	485.1	18.66	1.4
Error	54	719.9	13.331	
Corrected Total	80	1205.0		

Análisis de varianza para la unidad VTCa – Serie Bolívar

Number of observations 81
 NOTE: Due to missing values, only 78 observations can be used in this analysis.
 The GLM Procedure

		Sum of		
Source	DF	Squares	Mean Square	F Value
Model	25	2366.1	94.64	3.8826
Error	52	1267.6	24.37780777	
Corrected Total	77	3633.7		

Análisis de varianza para la unidad VTCa - Serie Nechi - fp

Number of observations 81
 NOTE: Due to missing values, only 78 observations can be used in this analysis.
 The GLM Procedure

		Sum of		
Source	DF	Squares	Mean Square	F Value
Model	25	667.7	26.71	5.165
Error	52	268.9	5.17179872	
Corrected Total	77	936.7		

Análisis de varianza para la unidad LGLb - Serie Jurado – up

Number of observations 81
 The GLM Procedure

		Sum of		
Source	DF	Squares	Mean Square	F Value
Model	26	97.9	3.77	1.406
Error	54	144.6	2.677518519	
Corrected Total	80	142.5		

Análisis de varianza para la unidad LGLb - Serie El Carmen

Number of observations 81

NOTE: Due to missing values, only 78 observations can be used in this analysis.
The GLM Procedure

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value
Model	25	1260.5	50.42	7.028
Error	52	373.1	7.17441667	
Corrected Total	77	1633.6		

Análisis de varianza para la unidad VTCa – Casablanca

Number of observations 81

The GLM Procedure

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value
Model	26	749.2	28.82	1.399
Error	54	1112.2	20.5983063	
Corrected Total	80	1861.4		

Análisis de varianza para la unidad LGLB – Serie Bolívar – rt

Number of observations 81

The GLM Procedure

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value
Model	26	1030.3	39.63	2.149
Error	54	995.6	18.43717654	
Corrected Total	80	2025.9		

Análisis de varianza para la unidad VTNa - Casablanca

Number of observations 81

NOTE: Due to missing values, only 78 observations can be used in this analysis.
The GLM Procedure

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value
Model	25	4008.9	160.36	8.478
Error	52	983.5	18.91340256	
Corrected Total	77	4992.4		

Análisis de varianza para la unidad VTMa - Casablanca

Number of observations 81
The GLM Procedure

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value
Model	26	966.4	37.17	2.042
Error	54	982.8	18.1998	
Corrected Total	80	1949.2		