

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**INSTITUTO DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA**



**“CORRELACIÓN DEL TIPO DE SUELO-NIVEL FREÁTICO-  
COBERTURA VEGETAL EN EL CORREDOR RIPARIO DEL RÍO  
COLORADO EN EL TRAMO FFCC-VADO CARRANZA”**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA**

**PRESENTA**

**MARTHA GEORGINA RAMOS VELÁZQUEZ**

**DIRECTOR**

**DR. JORGE RAMÍREZ HERNÁNDEZ**

**Mexicali, B. C.**

**Noviembre 2008**

# INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCION</b>	<b>7</b>
1.1	ÁREA DE ESTUDIO	8
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>10</b>
2.1	OBJETIVO GENERAL:	10
2.2	OBJETIVOS PARTICULARES:	10
<b>3</b>	<b>ANTECEDENTES</b>	<b>11</b>
3.1	COBERTURA VEGETAL	11
3.1.1	Características de las áreas riparias	12
3.1.2	Vegetación en la zona de estudio	18
3.2	SUELO	19
3.2.1	Distribución del Tamaño de las Partículas (Textura)	20
3.2.2	pH	21
3.2.3	Conductividad Eléctrica	22
3.3	VALLE DE MEXICALI Y EL RÍO COLORADO	23
3.3.1	Fisiográfica y Geología	23
3.3.2	Suelo en el Valle de Mexicali y en el Río Colorado	24
3.4	DEMANDA DE AGUA POR ESPECIE VEGETAL	24
3.4.1	Álamo de Virginia ( <i>Populus fremontii</i> ) y Sauce ( <i>Salix gooddingii</i> ):	27
3.4.2	Cachanilla ( <i>Pluchea sericea</i> )	29
3.4.3	Pino Salado ( <i>Tamarix ramosissima</i> )	30
3.5	REGRESIÓN MÚLTIPLE	31
<b>4</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>34</b>
4.1	DISEÑO DEL EXPERIMENTO	34
4.1.1	Colección de muestras de suelo y el valor del nivel freático	35
4.1.2	Análisis de Laboratorio	35
4.1.3	Tratamiento de los datos	36
1.	Análisis estadístico	36
2.	Presentación gráfica	36
3.	Análisis de imágenes	37
<input type="checkbox"/>	Imágenes:	37
<input type="checkbox"/>	Clasificación visual de la vegetación:	37
<input type="checkbox"/>	Nivel Freático:	37
<input type="checkbox"/>	Buffers:	38
<input type="checkbox"/>	Clips:	38
<input type="checkbox"/>	Uniones:	38
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>39</b>
5.1	DISEÑO DE LA CAMPAÑA DE MUESTREO DE CAMPO	39
5.2	CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS EN LA ZONA DE ESTUDIO	39
5.2.1	Análisis estadísticos de las muestras de la primera campaña	39
5.2.2	Suelos en la zona de estudio:	40
5.3	PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO EN LOS SITIOS DE MUESTREO DE SUELO	47

<b>5.4 CORRELACIÓN DE LOS DATOS DE SUELO, COBERTURA VEGETAL Y PROFUNDIDAD AL NIVEL FREÁTICO .....</b>	<b>48</b>
<input type="checkbox"/> Nivel freático .....	48
<input type="checkbox"/> Álamo ( <i>Fremont Cottonwood</i> ).....	49
<input type="checkbox"/> Sauce ( <i>Salix Gooddingii</i> ).....	50
<input type="checkbox"/> Pino Salado ( <i>Tamarix ramosissima</i> ) y Pino Salado Seco ( <i>Tamarix ramosissima Seca</i> ) .....	50
<b>6 DISCUSION.....</b>	<b>53</b>
<b>7 CONCLUSIONES .....</b>	<b>55</b>
<b>8 REFERENCIAS .....</b>	<b>57</b>
<b>9 REFERENCIAS WEB .....</b>	<b>59</b>
<b>10 APÉNDICES.....</b>	<b>60</b>

## FIGURAS:

Fig. 1. Mapa de localización del área de estudio (FFCC-Vado Carranza).....	9
Fig. 2. Delimitación entre zonas acuáticas, ribereñas, y la altiplanicie.....	15
Fig. 3. Delimitación entre las zonas ribereñas y de humedales.....	17
Fig. 4. Diagrama triangular de textura de suelo .....	20
Fig. 5. Variación en la disponibilidad de nutrientes.....	21
Fig. 6. Material para el método de Boyoucos.....	36
Fig. 7. Triángulo de clasificación de suelos .....	41
Fig. 8. Distribución espacial del contenido de arenas.....	42
Fig. 9. Distribución espacial del contenido de arcillas.....	43
Fig. 10. Distribución espacial del contenido de Limos.....	44
Fig. 11. Distribución espacial de pH.....	45
Fig. 12. Distribución espacial de Conductividad Eléctrica.....	46
Fig. 13. Relación entre el nivel freático y las arcillas <sup>3</sup> .....	48
Fig. 14. Relación entre Álamo y limo 1, limo 2 y CE 2 .....	49
Fig. 15. Relación entre Sauce y pH 3.....	50
Fig. 16. Relación entre el Pino Salado y limo 3.....	51
Fig. 17. Relación entre el Pino Salado Seco y las arenas 3.....	51

## TABLAS:

Tabla 1: Áreas de polígonos y coberturas.....	19
Tabla 2: Escala de Conductividad (mS/cm).....	22
Tabla 3: Características del Álamo.....	28
Tabla 4: Características del Sauce.....	29
Tabla 5: Características de la Cachanilla.....	30
Tabla 6: Características del Pino Salado.....	31

<b>Tabla 7: Datos del Nivel Freático.....</b>	<b>47</b>
---	-----------

## **APÉNDICES:**

<i>A-1: Clasificación de la cobertura vegetal.....</i>	<b>60</b>
<i>A-2a: Álamo.....</i>	<b>61</b>
<i>A-2b: Sauce.....</i>	<b>61</b>
<i>A-2c: Cachanilla.....</i>	<b>61</b>
<i>A-2d: Pino Salado .....</i>	<b>61</b>
<i>A-3: Datos de nivel, % de textura de suelo, pH, CE y %cobertura vegetal .....</i>	<b>62</b>
<i>A-4: Imagen de satélite Lansat Thematic Mapper (2002).....</i>	<b>63</b>
<i>A-5: Clasificación visual de la vegetación en la zona de estudio.....</i>	<b>63</b>
<i>A-6: Ejemplo de datos del nivel freático.....</i>	<b>64</b>
<i>A-7: Buffer .....</i>	<b>64</b>
<i>A-8: Clip.....</i>	<b>65</b>
<i>A-9: Union.....</i>	<b>65</b>
<i>A-10a: Información de % de Arena, Arcilla y limos.....</i>	<b>66</b>
<i>A-10b: Información arrojada por el programa Jumper para poder definir “n” para la segunda campaña .....</i>	<b>67</b>
<i>A-11: Sitios de muestreo de suelo en la zona de estudio .....</i>	<b>68</b>

# **CORRELACIÓN DEL TIPO DE SUELO-NIVEL FREÁTICO-COBERTURA VEGETAL EN EL CORREDOR RIPARIO DEL RÍO COLORADO EN EL TRAMO FFCC-VADO CARRANZA**

## **1 INTRODUCCION**

El caudal del Río Colorado (RC) en su Delta se ha visto reducido por la utilización del agua en actividades agrícolas, industriales y urbanas en el mismo delta y aguas arriba (*Glenn et al., 1996*). Esto ha provocado que prácticamente en todo el territorio mexicano, el cauce del río se encuentre seco, exceptuando los períodos en que se presentan condiciones de escurrimientos extraordinarios (*Zamora-Arroyo et al., 2005*). A medida que el Río se aproxima al Golfo de California, la elevación de su lecho disminuye hasta alcanzar niveles por debajo del nivel freático. En estos sitios, el acuífero alimenta al río, y se observa agua en su lecho, la mayor parte del año (*Pérez-González, 2006*). Este efecto es especialmente importante en la zona de estudio, ubicada entre la vía del ferrocarril y el vado Carranza, tramo que cuenta con 12 kilómetros de longitud aproximadamente, observándose un importante desarrollo de vegetación riparia.

El delta del RC fue alguna vez uno de los estuarios más importantes del mundo: casi 8,000 km<sup>2</sup> de humedales, un hábitat para aves migratorias y especies marinas exclusivas de la región, y el santuario de comunidades indígenas, como los Cucapá, que pescaban en el río y practicaban la agricultura por inundación en las planicies de las riberas del río. Hoy en día, el delta tiene menos de la mitad de su superficie original, sus bosques exuberantes han sido reemplazados por unas cuantas plantas resistentes que

son capaces de sobrevivir en el agua salada, la fauna marina que antes usaba este ambiente como área de reproducción ha desaparecido en gran medida, y las especies marinas como la vaquita y la totoaba están actualmente clasificados como especies en peligro de extinción. (*Faulkner, 1999*).

La dinámica del ecosistema entre agua, vegetación y fauna silvestre en el corredor ripario es compleja. Entre los factores relevantes para el establecimiento y mantenimiento de la vegetación riparia nativa en el bajo RC se encuentran: la frecuencia y temporalidad de los flujos, el movimiento de sedimentos (que es influenciado por la morfología del canal y a su vez tiene influencia sobre éste) y la calidad del agua (la vegetación riparia nativa muestra baja tolerancia a la salinidad y las plántulas no pueden germinar en suelos salinos). Sin embargo, los plantíos artificiales algunas veces pueden sobrevivir con fuentes de agua de mayor salinidad (*Zamora-Arroyo, 2005*).

En el presente trabajo se analizó la textura, pH y conductividad eléctrica del suelo, en el tramo del (FFCC-Vado Carranza), y a su vez se le correlacionó con la cobertura vegetal y la profundidad del nivel freático, para determinar que tipo de relación hay entre estas variables.

## **1.1 ÁREA DE ESTUDIO**

El área de estudio se encuentra en la parte noreste del estado de Baja California; localizada en la región donde el Río Colorado cruza el Puente del Ferrocarril Mexicali-Puerto Peñasco Sonora; en las coordenadas 32° 14' de latitud norte y 115° 03' de longitud

oeste, y el cruce del río con el vado de la Col. Carranza en las coordenadas 32° 11' de latitud norte y 115° 09' de longitud (Fig.1).

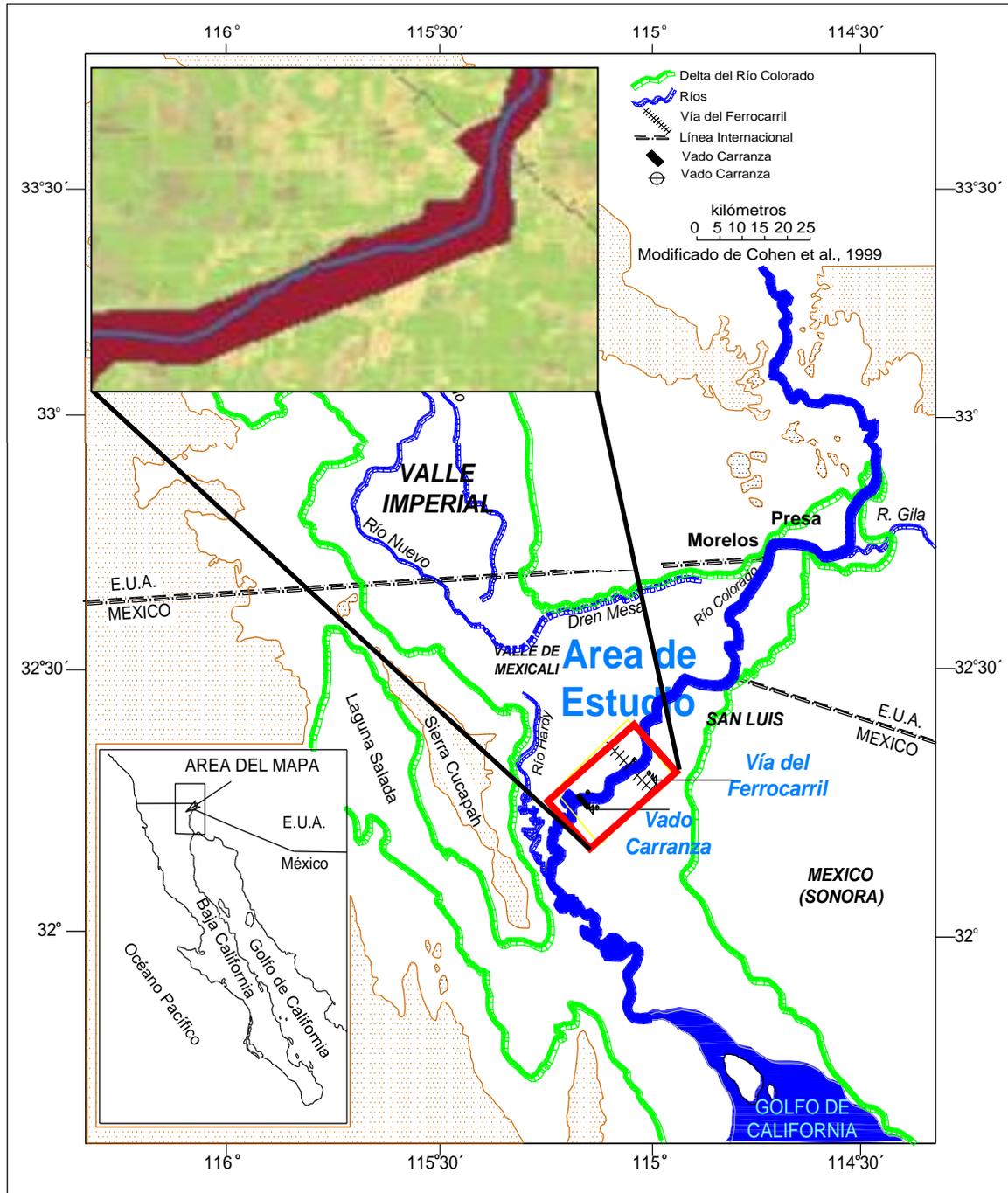


Fig. 1. Mapa de localización del área de estudio (FCC-Vado Carranza) (Modificado de Cohen et al., 1999)

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL:**

Identificar la influencia de las variables de textura, pH y conductividad eléctrica del suelo sobre el agua subterránea y cobertura vegetal en el corredor ripario del RC en el tramo FFCC-vado Carranza a partir de un análisis de regresión.

### **2.2 OBJETIVOS PARTICULARES:**

1. Realizar los análisis de textura, pH, y conductividad eléctrica del suelo, y elaborar mapas de su distribución mediante el muestreo del suelo a diferentes profundidades.
2. Recopilar información del tipo de cobertura vegetal en el área de estudio a partir de las imágenes satelitales.
3. Obtención de los datos de la profundidad del nivel freático a partir de la toma de muestras de suelo.
4. Analizar la relación entre el tipo de suelo, cobertura vegetal y nivel freático de la zona de estudio en los puntos muestreados.
5. A partir de los resultados, estos puedan servir de apoyo a futuras restauraciones.

### 3 ANTECEDENTES

En México se siguen conservando aproximadamente 170,000 hectáreas de áreas naturales que contiene hábitat ribereños, humedales salobres y hábitat intersticiales (*Glenn et al., 2001*). Sin embargo el RC como la mayoría de los grandes ríos del mundo ha sido controlado para el uso humano por medio de presas, diques y canales. Por el intenso uso del agua y la regulación del flujo en el control de las inundaciones ha interrumpido el curso natural de los corredores riparios (*Zamora-Arroyo, et al., 2001*). Lo anterior ha llegado a afectar de manera sensible la dinámica de los flujos de sedimentos y del agua superficial y subterránea, además de la contaminación del agua y del suelo.

Los corredores ribereños son hábitat críticos para la flora y fauna del desierto, ya que proporcionan un oasis para la diversidad de especies y dando una alta productividad en medios áridos (*Glenn et al., 2001*). La extensión de vegetación ribereña en tierras áridas cambia temporalmente y espacialmente en sus flujos de agua, como resultado de la intervención humana en su régimen natural del flujo y la invasión de plantas exóticas y animales que han impactado negativamente la región de la parte baja del Río Colorado (*Poff et al., 1997*).

#### 3.1 COBERTURA VEGETAL

En la parte baja del RC, el más largo y alterado río del suroeste de EU y septentrional de México, se introdujo un arbusto exótico, tolerante a la salinidad, *Tamarix ramosissima* (pino salado), que conjuntamente con halófitas nativas, casi han remplazado por completo al mesófilo bosque nativo que dominó en el corredor ripario del Cañón del

Colorado hasta el Delta en el Golfo de California. La pérdida de *Populus fremontii* (álamo) y de *Salix gooddingii* (sauce) y plantas asociadas a epifitas, ocasionó un desplome del hábitat secundario para numerosas especies de plantas, aves, mamíferos y reptiles, de los cuales 45 especies de la región baja del RC son listadas como en riesgo o amenaza de peligro de extinción (Zamora-Arroyo et al., 2001).

Se han realizado varios esfuerzos para la restauración del corredor ripario, algunos de estos se están realizando en el sudoeste de los Estados Unidos. Entre estos esfuerzos algunos se han enfocado en restablecer los flujos de agua superficial y de sedimento apropiados; mientras otros se han enfocado a manipular la estructura vegetal, plantando especies nativas como *Populus* y desmontando a los no deseados e invasores como *Tamarix* (Stromberg et al., 2007).

### **3.1.1 Características de las áreas riparias**

Según Zaimes (2007), las áreas riparias proporcionan uno de los soportes principales para la productividad y diversidad vegetal. Desde el punto de vista de la hidrología, el funcionamiento de las áreas riparias, son definidas por su capacidad de almacenar, de mover el agua y el sedimento. El mayor almacenamiento de agua de las áreas riparias y su gran proximidad a los cuerpos de agua dan lugar a un mayor contenido de humedad del suelo y conduce a tener distintas comunidades de vegetación. También es importante observar que las áreas riparias son muy dinámicas, que lleva a los cambios rápidos en la composición y los ambientes de la vegetación, dependiendo de las condiciones atmosféricas y a los disturbios de un año particular. Estos ecosistemas

riparios son dependientes de los disturbios, sobre todo de las inundaciones, para regenerar comunidades de vegetación.

Usando la inundación como el poder de corriente de unidad y la magnitud de descarga, los investigadores asumen una relación directa con la perturbación. Sin embargo, el impacto de la perturbación inducida por una inundación no está relacionada únicamente a los parámetros propios de la inundación, Tieggs (2005) menciona que el grado al cual un sitio se opone (resiste) a la perturbación por la inundación se relaciona con otras variables, entre las que se incluyen: (1) el tamaño de sustrato, (2) el grado de estructura del sustrato, (3) el tamaño y forma de la partícula, (4) la fenología y la edad de la vegetación, (5) el contenido de humedad de sustrato, (6) la cohesión de sustrato y (7) cambios de la geometría de canal que ocurren durante la inundación.

Zaimes (2007) menciona que los suelos son el mineral no consolidado y material orgánico de la superficie de la Tierra y el medio natural para el crecimiento de plantas. También para este autor, los suelos son producto de cinco factores fundamentales: clima, tipo y origen del material no consolidado, organismos, topografía, y tiempo, que generalmente debido a su posición dentro del paisaje, los suelos riparios son recipientes de sedimentos y de otros materiales, y son también reguladores y transformadores de la energía y materiales importantes entre los ecosistemas terrestres y acuáticos. Los suelos comparten muchas características, pero también se diferencian de varias maneras. Una de estas diferencias se relaciona con frecuentes acontecimientos de inundación asociados a procesos deposición y erosión.

La calidad de suelo ha sido definida como la capacidad de un suelo para funcionar, dentro de fronteras de ecosistemas, para sostener la productividad biológica, mantener la calidad ambiental, y promover la salud de las plantas y de los animales. La producción agrícola puede reducir la calidad de suelo (Muñoz, 2007). Particularmente en el Delta del RC el aumento de la salinidad de suelos ribereños, es un subproducto de la falta de eventos de inundación, también contribuyen en el incremento del stress y mortalidad de *Populus* y *Salix*. Los cambios de la morfología del canal principal y la dinámica que se relaciona con las interacciones de inundación alteradas y el modelo de transporte de sedimento, a veces en conjunción con el río, son implicados en la disminución de bosques de *Populus* (Stromberg, et al., 2007).

Para Zaines, (2007), la vegetación es una parte integral de las áreas riparias, su composición y la cantidad de vegetación en estas áreas, se diferencian de la vegetación de la altiplanicie. Estas diferencias reflejan la influencia del cuerpo de agua adyacente sobre todo en términos de la creciente humedad del suelo en las áreas riparias. La diversidad y la presencia de vegetación riparia es extremadamente alta comparada con la vegetación de la altiplanicie.

También este autor menciona que las zonas riparias tienen vegetación de diversas especies en densidades más altas comparadas con las de las altiplanicies adyacentes (Fig. 2). En cambio, el soporte de los sistemas acuáticos, se integran en la diversidad de plantas acuáticas en diferentes profundidades. La razón principal de esta diferencia entre densidades, es que las áreas riparias y las altiplanicies varían en sus fuentes de agua para su vegetación. En las altiplanicies, la precipitación es la fuente primaria de agua, en

cambio, en la zona riparia, recibe el agua de las altiplanicies, por escurrimientos, flujo superficial y recarga de agua subterránea y de sistemas acuáticos, por procesos de infiltración. El resultado final es que las áreas riparias tienen más fuentes y mayores cantidades de agua con respecto a las altiplanicies adyacentes. Además, la vegetación riparia se adapta a los disturbios frecuentes, sobre todo a las inundaciones que juegan un papel importante en la dispersión de semilla de plantas ribereñas, (*Stromberg, et al., 2007*). Las altiplanicies, no experimentan estos tipos de disturbios. Esto hace la diferencia con la vegetación riparia.

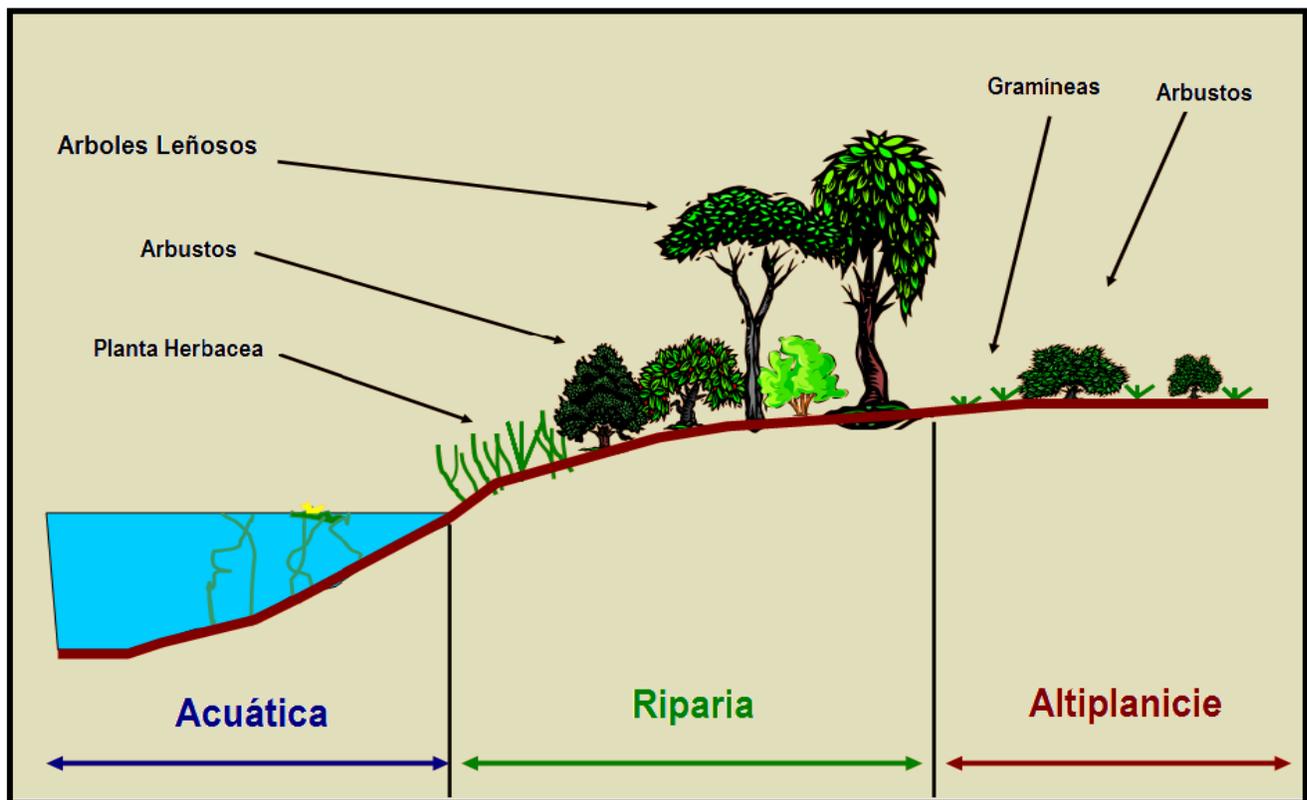


Fig. 2. Delimitación entre zonas acuáticas, ribereñas, y la altiplanicie (*Zaimes; 2007*).

Los ecosistemas ribereños están entre los hábitats más diversos, dinámicos y complejos sobre la Tierra. Además, de atenuar las inundaciones, mantienen las capas

freáticas elevadas, mejoran la calidad de agua, y así proporcionan valiosos servicios ambientales (*Tiegs, 2005*).

Las áreas ribereñas son frecuentemente nombradas como “humedales”, términos que no son necesariamente sinónimos. La delineación entre el humedal, el área riparia, y la altiplanicie no es siempre directa. Algunas de las razones principales son: cambios estacionales y de los niveles de inundación, humedad del suelo, y la vegetación. La región, la geología, la topografía y la elevación, pueden influenciar y dar lugar a diversos tipos de áreas riparias. Pero los tres factores principales que las caracterizan son: agua, suelo y vegetación. Estos factores las influyen tan perceptiblemente que pueden ser distinguidos de sus paisajes adyacentes (áreas terrestres y acuáticas) (*Zaimes, 2007*). Este autor también menciona que las zonas ribereñas están cercanas a diversas fuentes de agua (corrientes, ríos, lagos), tienen suelos que son jóvenes y subdesarrollados con alta diversidad espacial debido a los disturbios frecuentes, mientras que su vegetación tiene composición y/o densidades diversas debido a exceso del agua comparado con las altiplanicies. Finalmente, aunque los humedales y las áreas riparias sean utilizados alternativamente por algunos, esto no siempre es verdad. En muchos casos las áreas consideradas humedales no son riparias y viceversa (Fig. 3).

Los corredores riparios poseen una diversidad inusual de especies y procesos ambientales; son muy diversos, dinámicos y biofísicamente complejos hábitats en la porción terrestre de la Tierra. Los corredores riparios son inusitadamente un mosaico diverso de superficie, comunidades y ambientes dentro del paisaje (*Naiman et al. 1997*).

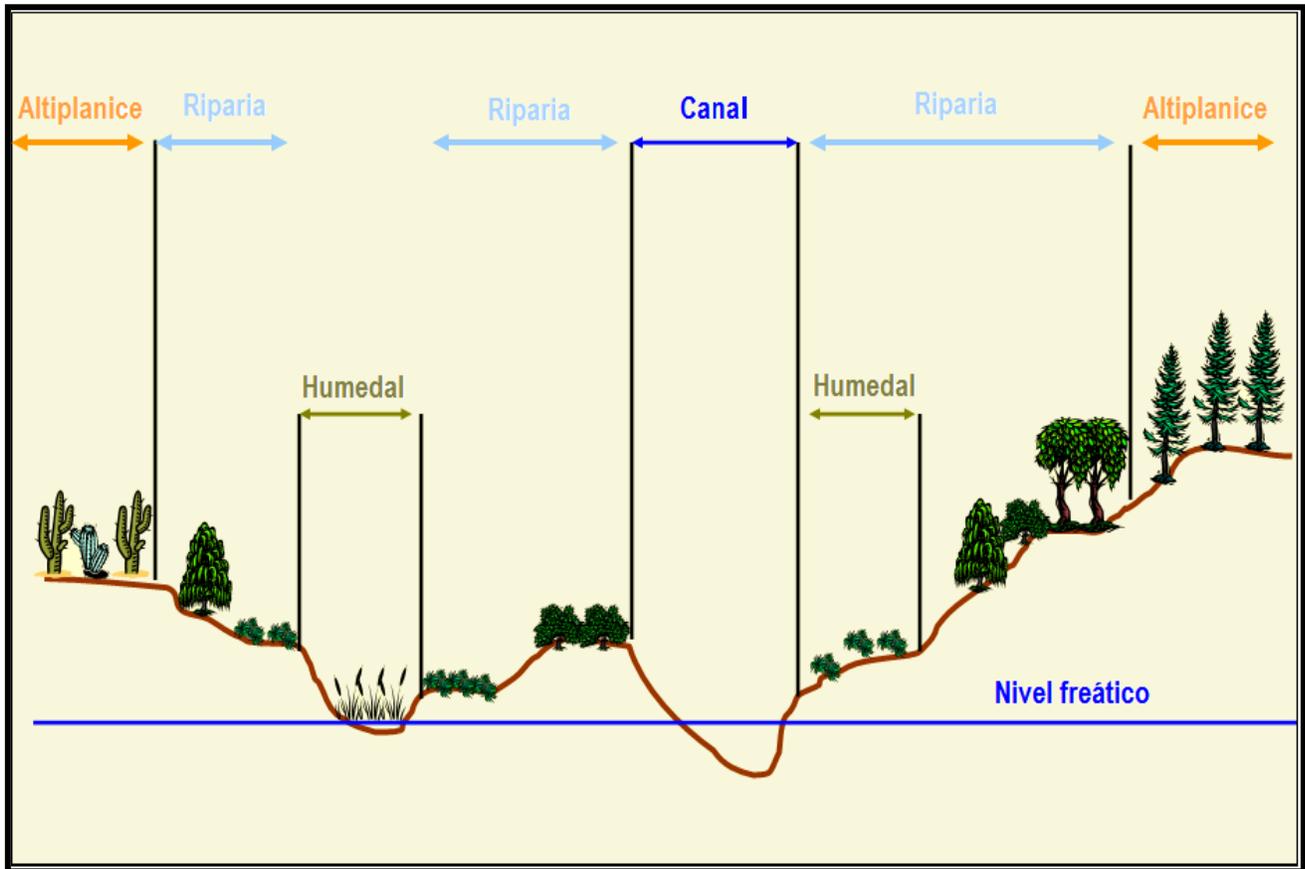


Fig. 3. Delimitación entre las zonas ribereñas y de humedales (Zaines; 2007). Como se indica en el gráfico las zonas ribereñas y de humedales hacen la superposición en algunos casos, mientras que en otros no lo hacen.

La pregunta clave es si la restauración del régimen de los pulsos del flujo podría permitir la regeneración de los árboles nativos en presencia del pino salado. Los árboles nativos se regeneran bajo condiciones hidrológicas favorables en ríos no represado como el Hassayampa y San Pedro, en Arizona (U.S.A.). Las condiciones hidrológicas difieren, sin embargo, para los ríos grandes, altamente alterados como el Colorado. El bajo río del Colorado ha experimentado un extenso cambio a través del último siglo. (Nagler et al. 2005). Los programas de conservación del agua de restauración requieren conocer las características comparativas del uso del agua de las especies nativas e invasoras bajo condiciones de stress y no stress y sus efectos sobre el balance de agua en los corredores riparios (Nagler, 2003).

Tiegs (2005), menciona que el beneficio ecológico adquirido por descargas de inundación intencionales puede ser maximizado y explotando en lo fisiológico, reproductivo y diferencias de hábitat entre *Tamarix ramosissima* y la especie deseable ribereña como *P. fremontii* y *S. gooddingii*, en donde las condiciones de alta salinidad de suelo acoplada con el stress de la sequía en la vegetación ribereña del delta, parece beneficiar a *T. ramosissima* en vez de las especies nativas. Si se presentaran inundaciones en el delta, mejorarían los hábitats para la germinación y la diversidad biológica total, reduciendo la capacidad competitiva de *T. ramosissima* con la vegetación riparia nativa, proveyendo niveles freáticos (niveles estáticos del agua subterránea) elevados y removiendo con agua las sales acumuladas del suelo.

### **3.1.2 Vegetación en la zona de estudio**

La principal vegetación que se encuentra en la zona de estudio es: Mezquite (*Prosopis glandulosa*), Sauce del Río (*Salix gooddingii*), Álamo (*Populus fremontii*), Chamizo salado (*Atriplex spp.*), Palo verde-junco (*Parkinsonia acuelata*), Hoja del Carbonero (*Baccharis salicifolia*), Tule (*Thypha domingensis*), Pasto Salado (*Distichlis spicata*), Cachanilla (*Pluchea sericea*) y Pino salado (*Tamarix ramosissima*), en donde estas dos últimas son arbustos oportunistas y tolerantes a resistir tierras salinas, sequías e incendios constantes, (Cupul-Magaña y Ramírez-Hernández, 2008).

Los estudios realizados por Zamora-Arroyo (2001), muestran que la vegetación riparia fue influenciada por los flujos extraordinarios de los años de 1993 y 1997; al observar que la alineación de las especies mesófilas está en concordancia con línea de inundación de los flujos extraordinarios en esos años.

Cupul-Magaña (2008) realizó la clasificación vegetal de la zona de estudio de forma simultánea a este trabajo y sus resultados fueron utilizados para correlacionar el tipo de vegetación con las variables obtenidas en el presente estudio. Cupul-Magaña (2008) con ayuda de un sistema de información geográfica e imágenes Landsat Thematic Mapper del 2002 clasificó de forma visual la vegetación en la zona. Sus resultados muestran una clasificación general en tres grupos principales *Tamarix-Pluchea*, *Populus-Salix* y otros cuyas coberturas espaciales en área y porcentaje se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1: Áreas de polígonos y coberturas de la zona de estudio**

<b>Polígonos</b>	<b>Área m<sup>2</sup></b>	<b>% Cobertura Vegetal</b>
<i>Populus-Salix</i>	19.04754617	1.047%
<i>Tamarix-Pluchea</i>	1002.09092281	55.106%
Otras clasificaciones	797.35144987	43.847%
<b>Área total</b>	<b>1818.48991885</b>	<b>100%</b>

Fuente: (Cupul-Magaña y Ramírez-Hernández, 2008)

Los detalles de la cobertura espacial, obtenida de Cupul-Magaña (2008), para cada grupo se presentan en el Apéndice A-1.

### **3.2 SUELO**

El suelo, corresponde al depósito de suelos de origen aluvial acarreados por el RC hasta el Delta. Su distribución en composición y textura es muy variada en la zona riparia dependiente de su cercanía al cauce principal o a los cauces secundarios o bien a la ocurrencia de flujos extraordinarios esporádicos, entre otros factores, tanto físicos como químicos. A continuación se hace una muy breve revisión de algunos de estos factores y su relación con la zona de estudio, sin intentar ser exhaustivos y con el único propósito de establecer los antecedentes más importantes en la presentación y discusión de los resultados del presente trabajo.

### 3.2.1 Distribución del Tamaño de las Partículas (Textura)

La proporción relativa de los tamaños de partículas en el suelo es conocida como la distribución del tamaño de partículas o más comúnmente, textura del suelo. La textura es considerada una de las más importantes propiedades físicas del suelo y afecta a casi todas las otras propiedades físicas, químicas y biológicas. Las proporciones de las fracciones arena, limo y arcilla son posibles de representar gráficamente en un triángulo textural, en el cual, se entregan los porcentajes de cada fracción en un gráfico de tres ejes (Fig. 4) (Fuentes, 2005)

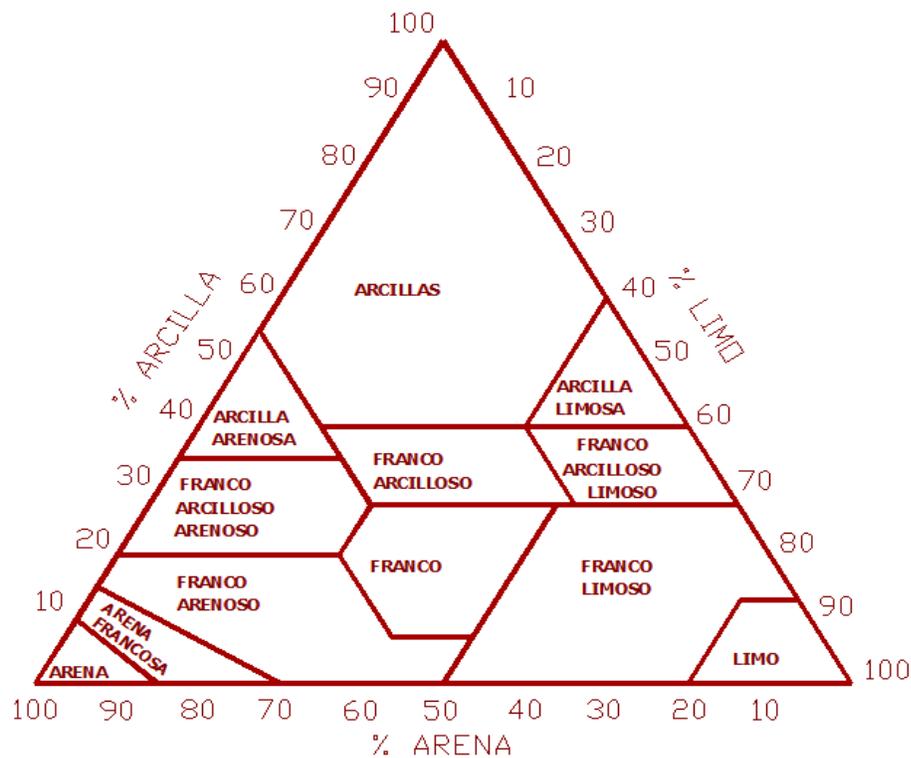


Fig. 4. Diagrama triangular de textura de suelo (Fuentes, 2005)

La representación gráfica de las proporciones de arenas, limos y arcillas en el suelo, dentro del diagrama triangular permite hacer una clasificación del tipo de suelo que se trate y denominarlo según su composición textural.

### 3.2.2 pH

Una solución de suelo que tenga un pH de 7 se considera neutra. Aquellas soluciones de suelo con pH mayor que 7 se denominan alcalinas, y ácidas a aquellas soluciones que tengan un pH inferior a 7. El pH en los suelos varía considerablemente con la cantidad de agua, por lo que es de gran importancia la proporción de disolución que se haga para su determinación (De la Peña, 1973). La determinación de la actividad de los iones hidrógeno (pH) en el suelo es una forma de estimar el grado de alcalinidad o acidez del sustrato. La actividad o bien concentración de estos iones de hidrogeno, es importante para el desarrollo de los cultivos y demás organismos. Es bien conocido que el pH de los suelos varía en función del clima, por ejemplo: los suelos de regiones lluviosas presentan valores de pH menores a los suelos de zonas de menor precipitación correspondientes a climas desérticos o semidesérticos (Fuentes, 2005).

Este mismo autor menciona que el pH influye en la disponibilidad de nutrientes. En general a valores de pH neutros se presenta la mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas y organismos. A medida que un suelo se torna más ácido o más básico, muchos de los nutrientes se hacen menos disponibles. En la figura 5 se muestra la disponibilidad de los distintos nutrientes

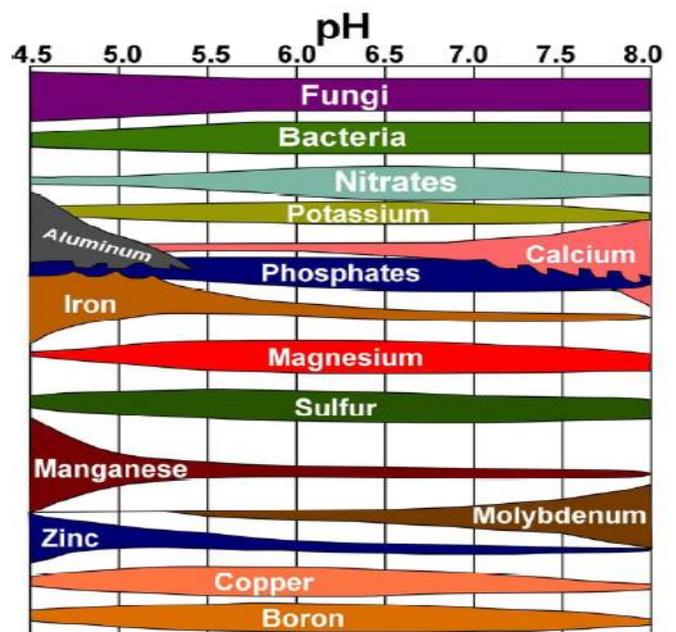


Fig. 5. Variación en la disponibilidad de nutrientes y poblaciones de hongos y bacterias en función del pH. (Fuentes,

para distintos valores del pH, a mayor grosor de las bandas, más asimilables son (*Fuentes, 2005*).

### 3.2.3 Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica es la facilidad que tienen algunos cuerpos sólidos o líquidos de transmitir la electricidad cuando se establece un circuito. En una solución, el transporte de la electricidad se lleva a cabo por iones de las sales disueltas, dado que los iones tienen la capacidad para transmitir la corriente eléctrica. Esta propiedad se utiliza para cuantificar la salinidad de un suelo midiendo la conductividad eléctrica del extracto del suelo a saturación, que esta íntimamente correlacionada con los sólidos totales disueltos (De la Peña, 1973).

Los suelos de zonas áridas y semiáridas por lo regular presentan situaciones de acumulación de sales solubles. Este proceso puede deberse a una baja capacidad del suelo para lixiviar estas sales o bien por un exceso de sales en el agua. Una alta

<b>Tabla 2: Escala de Conductividad (mS/cm)</b>	
<b>Conductividad</b>	<b>Salinidad</b>
<b>0-2</b>	<b>No salino</b>
<b>2-4</b>	<b>Ligeramente salino</b>
<b>4-8</b>	<b>Medianamente salino</b>
<b>8-16</b>	<b>Fuertemente salino</b>
<b>&gt;16</b>	<b>Extremadamente salino</b>

Fuente: (*Fuentes, 2005*)

concentración de sales en el suelo genera problemas de toxicidad para las plantas y problemas de absorción de agua (Tabla 2). La determinación de la concentración de sales

solubles se efectúa mediante la medición de la conductividad eléctrica del suelo (*Fuentes, 2005*).

### **3.3 VALLE DE MEXICALI Y EL RÍO COLORADO**

#### **3.3.1 Fisiográfica y Geología**

El valle de Mexicali es un ambiente deltáico. La altura varia entre los dos metros bajo el nivel del mar (msnm) en la línea divisoria internacional con los Estados Unidos, 10 Km. al oeste de Mexicali, a 43 msnm en el extremo noroeste del valle, en la entrada al mismo RC. En el extremo sur, la cota media es de 5 msnm, lugar donde llegan las mareas máximas del golfo de California. (*Ramírez-Hernández, 2006*).

El poder de erosión y acarreo de los materiales transportados por el Río a través de miles de años y que se fueron depositando, dio origen a una planicie que actualmente, dependiendo del territorio en que se encuentre, se conoce como Valle Imperial, de Yuma, de Mexicali y de San Luis Río Colorado. Al oriente de esta planicie de inundación se encuentran ligeras elevaciones topográficas conocidas con los nombres de mesas de Andrade, de San Luis y de Yuma, que son depósitos de naturaleza deltáica. Geológicamente las sierras que rodean al delta están constituidas por granitos y esquistos. En parte de la sierra de Chocolate en el norte y, de la sierra de las Pintas en el sur, se encuentran rocas de origen volcánico, y en una pequeña porción de la sierra de los Cucapah se pueden apreciar calizas metamórficas, (*Ramírez-Hernández, 2006*).

### **3.3.2 Suelo en el Valle de Mexicali y en el Río Colorado**

Los suelos del Valle de Mexicali son de orígenes mineralógicos indeterminados, aluviales y recientes, formados por acumulaciones sucesivas de materiales en suspensión y arrastrados por las grandes avenidas del RC. Se distinguen dos planos de deposición que dan origen a los suelos de la región; lo que podemos llamar planicie de inundación, que es en la que se encuentran los valles agrícolas de Mexicali, San Luis, Yuma e Imperial y, otro plano más alto, constituido por material más grueso (casi exclusivamente arenas), que forman las mesas de San Luis, de Yuma, del este y de Andrade, que prácticamente limitan el Delta por el oriente. Los suelos de la planicie de inundación están formados por gran número de capas de distintos materiales que varían desde arenas medias, finas y muy finas o limos, hasta arcillas, que corresponden prácticamente a cada una de las avenidas del río antes de su control. Los suelos del valle de Mexicali son de origen aluvial, que fueron formados por sedimentos arrastrados por el RC, que son verticalmente estratificados debido a las deposiciones que tuvieron lugar bajo condiciones variadas de topografía e intensidad de las avenidas del RC, (*Ramírez-Hernández, 2006*).

### **3.4 DEMANDA DE AGUA POR ESPECIE VEGETAL**

La intensa demanda de agua del río en las regiones áridas está provocando los cambios en la vegetación riparia. A través de regiones áridas y semiáridas del oeste de Norteamérica, los ecosistemas riparios son una característica visible del paisaje. Estos ecosistemas son espacial y temporalmente dinámicos y son formados por fluviales, así como por procesos geomorfológicos de la planicie. A pesar de su área limitada en el oeste,

estos sistemas proporcionan acoplamientos físicos y biológicos críticos entre los ambientes terrestres y acuáticos (Auble et al., 1994).

Al sudoeste de Estados Unidos, los bosques riparios nativos de álamos (*Populus spp.*) y sauce (*Salix spp.*) han declinado en la mayoría de los ríos importantes durante los 100 años pasados, mientras que un arbusto invasor, exótico pino salado (*Tamarix ramosissima*), ha extendido su distribución de hasta 20 Km/año a lo largo de algunos sistemas del río. Hoy el pino salado en monocultivo o en asociación con otros arbustos tolerantes a la sal domina la parte baja del río Colorado (Nagler et al., 2005). Muchas zonas ribereñas han sido alteradas por la eliminación del régimen normal de inundación; tales cambios en el régimen de flujos han contribuido a la diseminación de *Tamarix ramosissima*. Se ha propuesto que el restablecimiento de un régimen de flujo natural en el RC podría permitir la restauración pasiva de árboles nativos, sin la necesidad de agresivos programas de eliminación de *T. ramosissima*.

El delta del Río Colorado en México, ha recibido una serie de descargas de agua de gran volumen desde presas en EE.UU. durante los últimos 20 años. Debido a estas frecuentes descargas, desde 1981 se han regenerado árboles de las especies nativas *Populus fremontii* S. Wats. y *Salix gooddingii* C. Ball, aunque *T. ramosissima* aun es la planta dominante en el delta. Las poblaciones de árboles son jóvenes y dinámicas (edades entre 5 y 10 años). El fuego es la principal causa de mortalidad de árboles en períodos entre inundaciones aun en estas condiciones la biomasa de la planicie de inundación, responde positivamente incluso a eventos de inundación de bajo volumen, pero larga duración (Nagler, et al., 2005).

Muchos de los árboles nativos que actualmente existen en el corredor ripario surgieron como resultados de las inundaciones de 1993, y la mayoría no se establecieron antes de 1983. Estos árboles se mantienen de aguas residuales agrícolas y flujos base pequeños. Durante los años de secas, estos árboles son mantenidos por un manto freático superficial. Desde el 2000, los flujos base han impulsado el crecimiento de nuevos árboles nativos, sobre todo sauces, a lo largo del canal principal del río. El muestreo de pozos cercanos al corredor ripario indica que la profundidad de las aguas subterráneas es somera (un metro), incluso cuando el canal del río se encuentra casi seco, esto indica que la dirección del flujo subterráneo en los periodos en que no hay inundación va de las aguas subterráneas hacia el canal principal del río (*Zamora-Arroyo et al., 2005*).

Para *Zamora-Arroyo et al, 2005*, un análisis del impacto de las inundaciones en la biomasa (vegetación total) en el corredor ripario, de 1992 a 2002, señala que el corredor en verano está determinado por el número de años precedentes con flujos en el río, y no necesariamente por el volumen total de los flujos y que la mejor estimación de los requerimientos de agua para el corredor ripario es un flujo de base para el mantenimiento del canal de 37 a 61 millones de m<sup>3</sup> fluyendo durante todo el año a un gasto de 2 m<sup>3</sup>/s y un flujo periódico que inunde una parte de la planicie entre los bordos, de 320 millones de m<sup>3</sup>, a un gasto de 100 a 200 m<sup>3</sup>/s durante un periodo de aproximadamente 39 días.

Según *Nagler et al. (2005)*, los pinos salados son capaces de producir semillas y germinar en primavera y verano bajo una amplia gama de condiciones ambientales, mientras que el álamo y el sauce requieren de las inundaciones de primavera en el tiempo más corto para la germinación y producción de las semillas. Después de la germinación,

las semillas de los álamos y los sauces, deben de tener acceso al suelo húmedo o al nivel freático dentro de 2 m de la superficie durante la primera temporada, y el nivel freático a no más de 3-4 m de profundidad para el crecimiento continuo de estos. Este autor también menciona que, el pino salado puede crecer en un lugar específico, pudiendo tener acceso al agua subterránea tan profundo como a 6m, estas especies tienen mayor tolerancia a la sal y a la sequía que el álamo y el sauce. Por otra parte, los árboles nativos pueden soportar inundaciones por largo tiempo que el pino salado.

Para el estudio se tomaron las siguientes especies, Álamo, Sauce, Cachanilla y Pino Salado que serán descritas en los siguientes apartados:

#### **3.4.1 Álamo de Virginia (*Populus fremontii*) y Sauce (*Salix gooddingii*):**

Son árboles que crecen alrededor de 18 m de altura. Las especies dominantes son el Álamo (*Populus fremontii*) (Apéndice A-2a) y Sauce (Apéndice A-2b) (*Salix gooddingii*), aunque otras especies de sauces pueden estar presentes. Estas especies se producen en suelos limosos aluviales, húmedos, profundos a lo largo de la planicie de inundación del RC y los principales afluentes. Para establecerse, requieren del periodo de inundaciones de invierno o primavera, las inundaciones crean nuevas capas de limos para la germinación de la semilla de la especie dominante. Ambos *Populus fremontii* y *Salix gooddingii* se reproducen principalmente de semillas, teniendo muy definidas las necesidades de germinación. Además, ninguna de las especies puede tolerar la inundación prolongada (*Bureau of Reclamation, 2004*). A continuación se presentaran las características (Tabla 3 y 4) mas importantes de estas especies.

**Tabla 3: Características generales del Álamo**

Forma de crecimiento	Árbol
Tiempo de floración	Febrero-Marzo
Tiempo de dispersión de la semilla	Marzo-Abril Abril-Mayo
Agente dispersor de la semilla	Agua y Aire
Velocidad de crecimiento de la raíz	4-12 mm/día
Viabilidad de la semilla (condiciones naturales)	Seco 1-3 semanas Húmedo 1-2 días
Germinación de la semilla	24 horas en suelo desnudo
Tolerancia a la inundación	8 días siguen vivas, 16 días mueren
Tolerancia a la sequía	Bajo a nada
Profundidad de enraizamiento de los árboles jóvenes, primera temporada de crecimiento	75-150 cm. posible
Tolerancia a la sombra	Baja
Tolerancia a la inundación	3-4 semanas Pueden sobrevivir mediante la respiración anaeróbica y otras técnicas para tiempos cortos, el estrés suele ser visto dentro de unas semanas
Vulnerabilidad de inundación y sequía	Hasta que las raíces llegan al nivel freático, 2m o mas
La altura de los árboles durante el desarrollo	5-50cm en 2-3 años
Edad de madurez reproductiva	7 años en adelante, ocurre la floración
Profundidad de enraizamiento	3-5 metros
Duración	130 años o mas
Altura de los árboles reproductivos maduros	10-15 metros
Altura	6-34 metros
Diámetro del tronco	0.5-3.9 metros
Tolerancia a la sequía	Moderada
Elevación por encima del agua	1-3 metros sobre poco agua
Suelo	Suelo desnudo, húmedo, expuestos a substratos, libres de basura
pH	6.0-7.0
Tolerancia a la Salinidad	Baja
Demanda de agua	1.43-1.47m/año

Fuente: Hoffman-Floerke y Mills-Terry, 2004, Bureau of Reclamation, 2004

**Tabla 4: Características generales del Sauce**

Forma de crecimiento	Arbusto o árbol de 14 m de altura
Germinación de la semilla	45-60 días
Tiempo de floración	Principios de Marzo
Velocidad de crecimiento de la raíz	Rápida
Viabilidad de la semilla	Húmedo 12-24 horas, por que la viabilidad se reduce significativamente por solo unos días en condiciones secas
Tolerancia a la inundación	Buena para la germinación temprana
Tolerancia a la sequía	Medio
Profundidad de enraizamiento de los árboles jóvenes, primera temporada de crecimiento	1.2 metros
Tolerancia a la sombra	Intolerante
Tolerancia a la inundación	Si, pero no prolongada
Profundidad de enraizamiento	3-5 metros
Duración	70-85 años
Altura	22-43 m
Diámetro del tronco	75 cm.
Tolerancia a la sequía	Moderad
Suelo	Húmedos y a menudo sitios de arena
pH	5.7-7.4
Tolerancia a la Salinidad	No tolerante
Demanda de agua	1.43-1.47m/año

Fuente: *Gardenguides, Salix gooddingii Ball, Bureau of Reclamation, 2004*

### 3.4.2 Cachanilla (*Pluchea sericea*)

La cachanilla (Apéndice A-2c) es un tipo de cobertura terrestre denso, monotípico, formado históricamente a lo largo de la planicie de inundación del río Colorado, junto Álamos y Sauces. Se encuentran en los fondos de los canales de irrigación, cerca de manantiales, ha sustituido la vegetación de Álamo y Sauce en algunas zonas que son objeto de bombeo de aguas subterráneas. Sin embargo, ha sido desplazada por pino salado en las demás zonas (*Bureau of Reclamation, 2004*) (Tabla 5).

**Tabla 5: Características generales de la Cachanilla**

Forma de crecimiento	Arbusto
Tiempo de floración	A finales del invierno/primavera/principios de verano
Viabilidad de la semilla	Recién expuestos en suelos húmedos y aluviales
Tolerancia a la inundación	No
Tolerancia a la sequía	Si
Altura	(1.2-1.8)m
Tolerancia a la luz	Tolerante
pH	7.9-8.5 (alcalino) 8.6-9.0 (extremadamente alcalino)
Demanda de agua	1.35-1.38 m/año

Fuente: *Davesgarden, Bureau of Reclamation, 2004*

### **3.4.3 Pino Salado (*Tamarix ramosissima*)**

El Pino salado (Apéndice A-2d), ha sustituido la vegetación nativa ribereña a lo largo de una gran parte del río, especialmente en las zonas donde la vegetación nativa se ha limpiado o eliminado por el fuego. El Pino Salado es capaz de resistir los suelos altamente salinos que no son propicias para el establecimiento y crecimiento del álamo y sauce (*Bureau of Reclamation, 2004*). (Tabla 6)

**Tabla 6: Características generales del Pino Salado**

Forma de crecimiento	Arbustos o pequeños árboles
Tiempo de floración	Primavera-Verano
Viabilidad de la semilla	Solo unas semanas después de la madurez
Germinación de la semilla	24 horas en suelo
Tolerancia a la sequía	Alta
Altura	1.5 a 6 metros
Tolerancia a la sequía	Alta
Suelo	Suelo arenoso
pH	7.5
Tolerancia a la Salinidad	Alta
Demanda de agua	1.46-1.48m/año

Fuente: *McDaniel, et al., 2004, Bureau of Reclamation, 2004*

### **3.5 REGRESIÓN MÚLTIPLE**

El análisis de regresión nos presenta a una de las dos variables, llamada  $x$  como la variable ordinaria y la otra variable  $y$  como variable aleatoria. A  $x$  se le llamará variable dependiente o variable controlada, donde el interés radica en la dependencia de  $y$  en términos de  $x$ .

En este análisis, se supone que la media  $\mu$  de  $y$  depende de  $x$ , es decir, que es una función  $\mu = \mu(x)$  en el sentido ordinario; donde la curva de  $\mu(x)$  se llama curva de regresión de  $y$  con base en  $x$ . Se puede representar en un caso más sencillo como una recta representada por:

$$\mu(x) = \alpha + \beta x$$

Esta recta se le llama recta de regresión de  $y$  con base en  $x$ , y la pendiente  $\beta$  se le conoce como coeficiente de regresión. En el análisis de regresión de ambas variables  $x$  y  $y$ , son variables aleatorias, y el interés es conocer la relación entre ambas. Por lo que, mientras que los problemas de análisis de regresión solo incluyen una variable aleatoria, el análisis de correlación trata con problemas que incluyen dos o mas variables aleatorias (Kreyszing 1982).

A fin de facilitar su comprensión, definiremos algunos conceptos básicos:

- **Análisis de Correlación.**- Es el conjunto de técnicas estadísticas empleado para medir la intensidad de la asociación entre dos variables. El principal objetivo del análisis de correlación consiste en determinar que tan intensa es la relación entre esas variables.
- **Variable Dependiente.**- es la variable que se predice o calcula. Cuya representación es "Y"
- **Variable Independiente.**- es la variable que proporciona las bases para el calculo. Cuya representación es:  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ .
- **Coefficiente de Correlación.**- Describe la intensidad de la relación entre dos conjuntos de variables de nivel de intervalo. Es la medida de la intensidad de la relación lineal entre las variables. (Baca, 2005).

Coeficiente de correlación: 
$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

Asumiendo que el denominador en la formula es distinto a cero. Se puede demostrar que el coeficiente de correlación  $r$  tiene las siguientes propiedades:

1.  $-1 \leq r \leq 1$ .

2.  $r > 0$  si y tiende a incrementar cuando se incrementa  $x$  y  $r < 0$  si y tiende a disminuir cuando disminuye  $x$ .
3. Cuanto más fuerte sea la relación lineal entre  $x$  y  $y$ ,  $r$  estará cerca de -1 o de 1; cuanto más débil sea esa relación  $r$  estará más cerca de cero (*Lipschutz y Schiller, .2000*).

Ecuación de regresión Lineal Múltiple:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2$$

Donde:

Y: Variable dependiente

$X_1, X_2$ : Variables Independientes

a: es la ordenada del punto de intersección con el eje Y.

$b_1$  : Coeficiente de Regresión (es la variación neta en Y por cada unidad de variación en  $X_1$ ).

$b_2$  : Coeficiente de Regresión (es el cambio neto en Y para cada cambio unitario en  $X_2$ ).

## 4 METODOLOGÍA

La metodología que se utilizó se puede dividir en tres etapas, una correspondiente al trabajo de campo, la segunda al de laboratorio y la tercera al de gabinete. El trabajo de campo consistió en hacer una colecta de muestras de suelo, obteniendo a su vez el valor del nivel freático, al momento de tomar la muestra. Después se trabajó en laboratorio haciendo las determinaciones de las propiedades fisicoquímicas y texturales del suelo. Y finalmente se obtuvieron los datos de vegetación para así procesarlos con los otros datos obtenidos en gabinete, para poder obtener los resultados de las variables requeridas que fueron correlacionadas entre sí para determinar la relación que hay entre ellas.

### 4.1 DISEÑO DEL EXPERIMENTO

- ★ Diseñar el experimento de toma de muestras de suelo representativos de la zona.
- ★ Realizar una primera campaña de colecta y análisis de muestras de suelo, de forma aleatoria en la zona de estudio, para estimar el número de muestras de suelo estadísticamente representativas y así obtener el tipo de suelo en toda el área de estudio.
- ★ Diseño y selección de la distribución de los sitios a muestrear formando una malla de puntos para la segunda campaña de muestreo.
- ★ Análisis de los resultados de los datos de la primera y segunda campaña de la textura de suelo por medio de diagramas ternarios, isocontornos de concentración de sales, texturas y pH para las 3 profundidades elegidas.
- ★ Recopilación de los mapas de cobertura vegetal.
- ★ Recopilación bibliográfica de la demanda de agua para las especies de Álamo, Sauce, Cachanilla y Pino Salado.

- ★ Correlación de los datos de suelo, cobertura vegetal y profundidad al nivel freático.

#### **4.1.1 Colección de muestras de suelo y el valor del nivel freático**

- ★ Localización de los puntos a muestrear por medio del GPS
- ★ Obtención de las muestras de la primera y segunda campaña a tres profundidades (0.20, 1.0 m, y hasta el nivel freático), en la zona de estudio (las muestras de suelo se tomaron con ayuda de una barrena tipo California).
- ★ Recolección de datos del nivel freático de las muestras de suelo, ubicadas dentro de la zona de estudio.

#### **4.1.2 Análisis de Laboratorio**

- ★ Preparación de las muestras de suelo para su análisis de textura y fisicoquímico.
- ★ Entrenamiento sobre las técnicas de análisis de suelo en el laboratorio de Suelo y Drenaje de la Fac. de Ciencias Agrícolas.
- ★ Análisis de textura de suelo de la primera y segunda etapa por medio del método de Boyoucos (Fig. 6), en el Laboratorio de la UABC.
- ★ Obtención del pH y la conductividad eléctrica de la primera y segunda campaña a partir de extracto de suelo y métodos electroquímicos (el pH con la ayuda de un potenciómetro y la conductividad eléctrica con conductímetro con electrodo (método potenciométrico y celda de conductividad eléctrica)), (*De la Peña, 1973*).



Fig. 6. Material para el método de Boyoucos

### 4.1.3 Tratamiento de los datos

Para el análisis de los datos se separan en tres grupos: uno de forma estadística, el otro de forma grafica y el ultimo en el análisis de las imágenes.

#### 1. Análisis estadístico

- a) Análisis estadísticos de la textura del suelo del primer muestreo de campo para determinar el tamaño de la muestra representativo.
- b) Análisis de regresión múltiple de las variables en la zona de estudio, por medio del programa JMP IN. (Con los datos (Apéndice A-3) de vegetación, nivel freático y suelo se hicieron las regresiones múltiples correspondientes para encontrar cuales variables tenían significancia, pero no sin antes preparar los datos de vegetación, pasándolos a porcentajes)
- c) Redacción de resultados.

#### 2. Presentación gráfica

- a) Representacion de la composición del tipo de suelo en la zona, usando los triángulos de textura (*Fuentes, 2005*).

- b) Con el programa Surfer, se harán los isocontornos de textura, concentración de sales y pH.

### **3. Análisis de imágenes**

El programa ArcView Gis 3.2 sirvió como herramienta para poder llegar a la obtención de los datos para la correlación, y los cuales pasaron por una serie de procesos que se explicarán paso por paso a continuación:

- **Imágenes:**

Obtención y utilización de las imágenes referenciadas en base a la Imagen de satélite Landsat Thematic Mapper 2002 (Apéndice A-4) (*Cupul-Magaña y Ramírez-Hernández, 2008*)

- **Clasificación visual de la vegetación:**

Se adquirió con la finalidad de realizar las operaciones y manipulaciones de los datos de los diferentes polígonos que identifican las diferentes especies de vegetación en la zona así como las áreas descubiertas, de cultivo y vegetación no identificada, para utilizarlos en los análisis de correlación (*Cupul-Magaña y Ramírez-Hernández, 2008*). En el Apéndice A-5 se puede ver un ejemplo de un polígono que muestra el tipo de vegetación, el área, que lo compone.

- **Nivel Freático:**

Se anexaron dentro de la imagen satelital las coordenadas de los puntos de las muestras de suelo, de las que si se obtuvo el valor del nivel freático, mostrando el número

de muestra, su ubicación en la zona, su composición de textura, pH y conductividad eléctrica (Apéndice A-6).

- **Buffers:**

Se realizaron buffers o “moldes”, en este caso de 100 metros de radio debido a que es el área de influencia de la vegetación, alrededor de los puntos de las muestras de suelo para tener un mejor análisis de proximidad, de lo que se obtuvo la identificación de las muestras mas los 100 metros ya mencionados (Apéndice A-7).

- **Clips:**

Después se hicieron los cortes de las capas de vegetación (clips), extrayendo la información de la vegetación alrededor de los puntos de muestreo dentro de los 100m de distancia, los puntos de muestreo pueden estar compuestos por varios clips, (Apéndice A-8).

- **Uniones:**

Después se hicieron las uniones correspondientes de cada buffer y clip, obteniéndose los datos en uno solo, y así usarlos para poder realizar las correlaciones de las variables deseadas (Apéndice A-9). También como en los clips, los puntos pueden estar formados por varias uniones.

## **5 RESULTADOS**

### **5.1 DISEÑO DE LA CAMPAÑA DE MUESTREO DE CAMPO**

En la primera campaña los sitios de muestreo fueron elegidos de forma aleatoria, de los cuales se tenía planeado tomar alrededor de 90 puntos, y solo se obtuvieron 74, por que en algunos lugares el acceso al punto era imposible por la densa vegetación del sitio, y otros se ubicaban dentro del lecho del río, no obstante, estos puntos fueron suficientes para poder usarlos en los análisis para determinar el tamaño de muestra de la segunda campaña.

En la segunda campaña, los puntos de la primera campaña sirvieron como referencia, por medio de análisis estadísticos, para poder determinar los puntos de esta campaña y dar validez a nuestros resultados. Pero así como en la primera, en algunos sitios no había acceso y aquí si se tuvo que cambiar las coordenadas para completar los puntos requeridos. Se obtuvieron los puntos a tres profundidades: 0.20 m, 1.0 m y hasta atravesar el nivel freático.

### **5.2 CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS EN LA ZONA DE ESTUDIO**

#### **5.2.1 Análisis estadísticos de las muestras de la primera campaña**

A partir de los análisis de los valores de suelo de la primera campaña, se utilizo el programa JMP IN 3.2.6 (*Sall, J. and Lehman, A., 1996*), en el cual se obtuvieron los datos estadísticos necesarios para poder sustituirlos en la formula que nos permitió obtener el numero de muestra necesario para dar validez al trabajo (Apéndice A-10a y A-10b). La ecuación fue la siguiente (*Milton, 1992*):

$$n = \frac{4z^2s^2}{q^2}$$

Dónde:

n = numero de muestra

$z^2$  = punto de la distribución Z, cuyo valor depende de la confianza deseada

$s^2$  = varianza

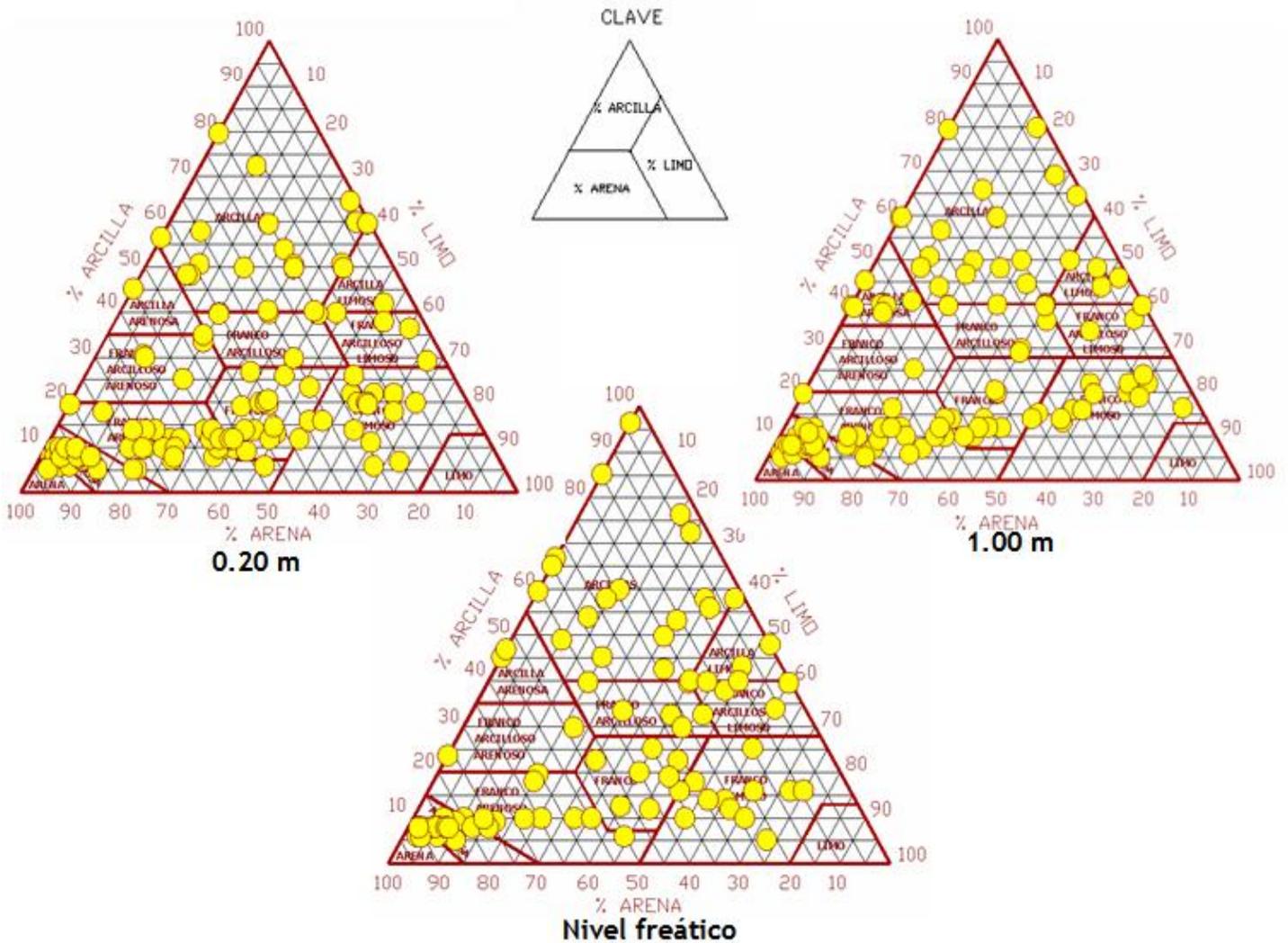
$q^2$  = es la longitud total del intervalo final deseado

para un intervalo de confianza del 95% ( $z=1.96$ ), una  $s^2=759.70$  y una  $q=9$ , se obtuvo un valor de  $n=144.06$ . Estos puntos fueron obtenidos para la segunda campaña obteniendo así una mejor distribución y validez a los datos tomados de la primera campaña, la  $q$  se tomo con respecto a los valores de arena, porque se encuentra en mayor abundancia en la zona de estudio y con respecto a la distribución espacial fue por medio de una malla en donde se seleccionaron los puntos de las zonas aisladas a los de la primera campaña tratando de cubrir toda la zona de estudio.

### **5.2.2 Suelos en la zona de estudio:**

Los suelos de la planicie de inundación están formados por gran número de capas de distintos materiales que varían desde arenas medias, finas y muy finas o limos, hasta arcillas, que corresponden prácticamente a cada una de las avenidas del río antes de su control y a los cambios del cauce principal, pero en nuestro análisis textural de cada una de las profundidades, se observa una importante presencia de sedimentos con altos

porcentajes de arena, aunque se encuentran sitios aislados con suelos arcillosos en las tres profundidades (Fig. 7).



**Fig. 7.** Triángulo de clasificación de suelos y criterio de separación según el contenido porcentual de arenas, limos y arcillas. Se muestra un triángulo para cada una de las profundidades muestreadas incluyendo los datos de las dos campañas.

El porcentaje de arena de toda el área de estudio es predominante en las tres profundidades y el valor promedio fue de 56.62% con un Intervalo de Confianza (I.C.) 95% (53.81-59.44) Fig. 8. Pero hubo mayor presencia en la segunda profundidad (prof.1=54.76%, prof.2=58.73%, prof.3=56.41%). Las arcillas, por su parte, muestran solo

el 16.77% de la zona, con un I.C. del 95% (24.43-28.82) y podemos notar algunos lugares asilados en toda el área, Fig. 9., aquí la profundidad 3 es la que predomina con un 18.39%. (prof.1=16.58, prof.2=15.77%).

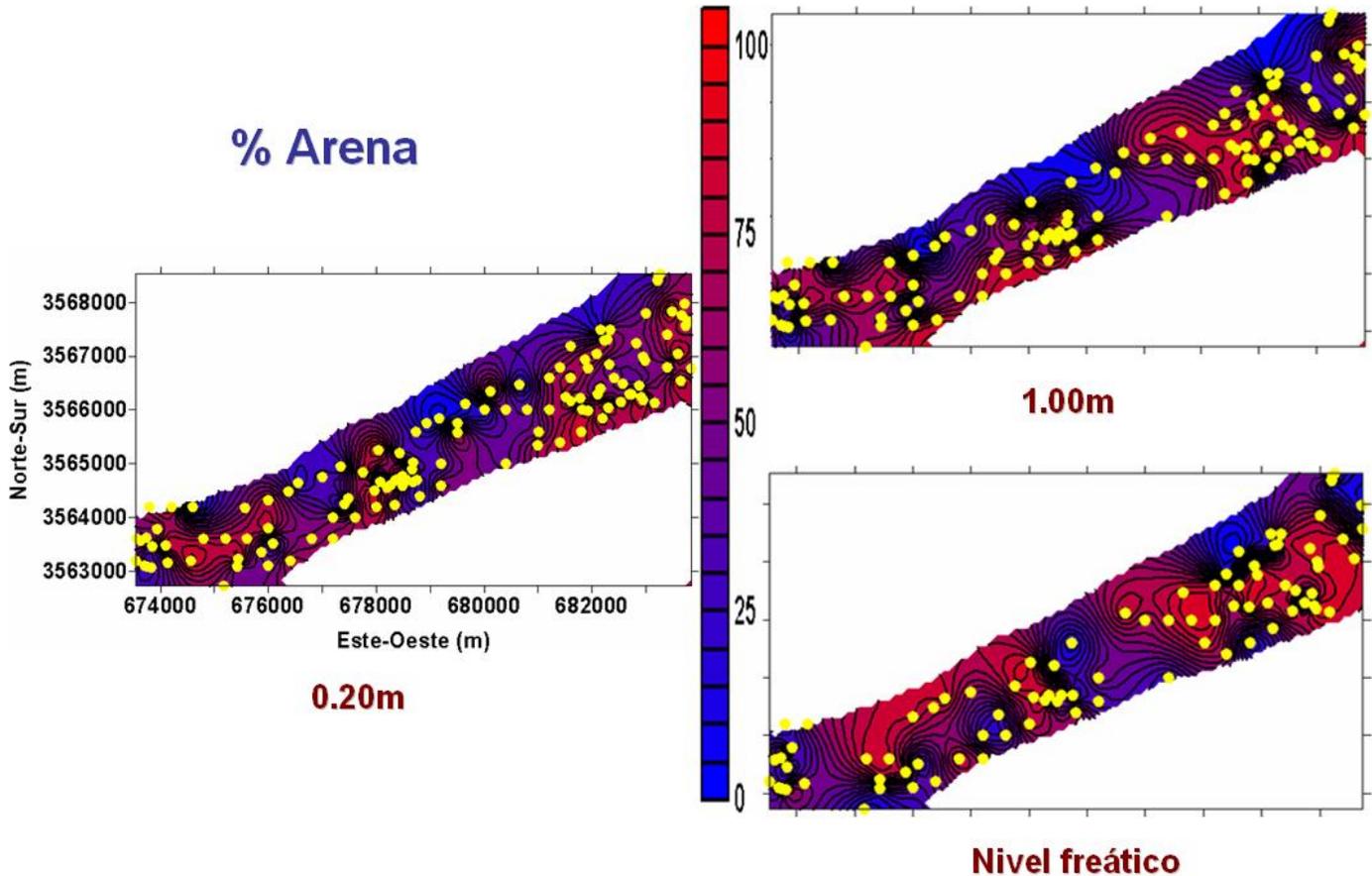


Fig. 8. Distribución espacial del contenido de arenas en porcentaje para las tres profundidades de muestreo.

Los limos se encuentran con un porcentaje del 26.63% con un I.C. 95% (24.43-28.82) en toda la zona, pero con mayor presencia en la primera profundidad (prof.1=28.64%, prof.2=25.57%, prof.3= 25.19%), Fig. 10.

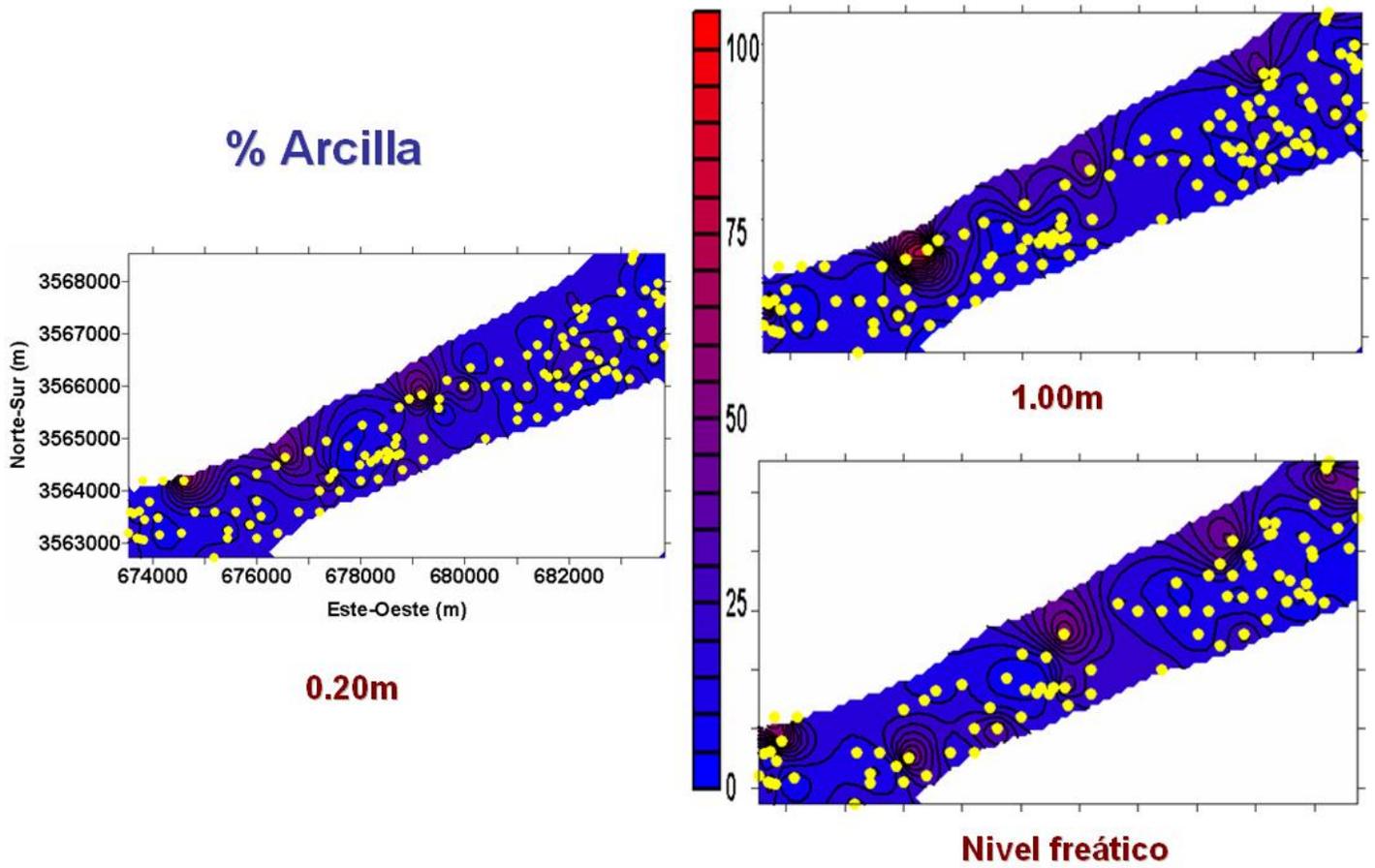


Fig. 9. Distribución espacial del contenido de arcillas en porcentaje para las tres profundidades de muestreo.

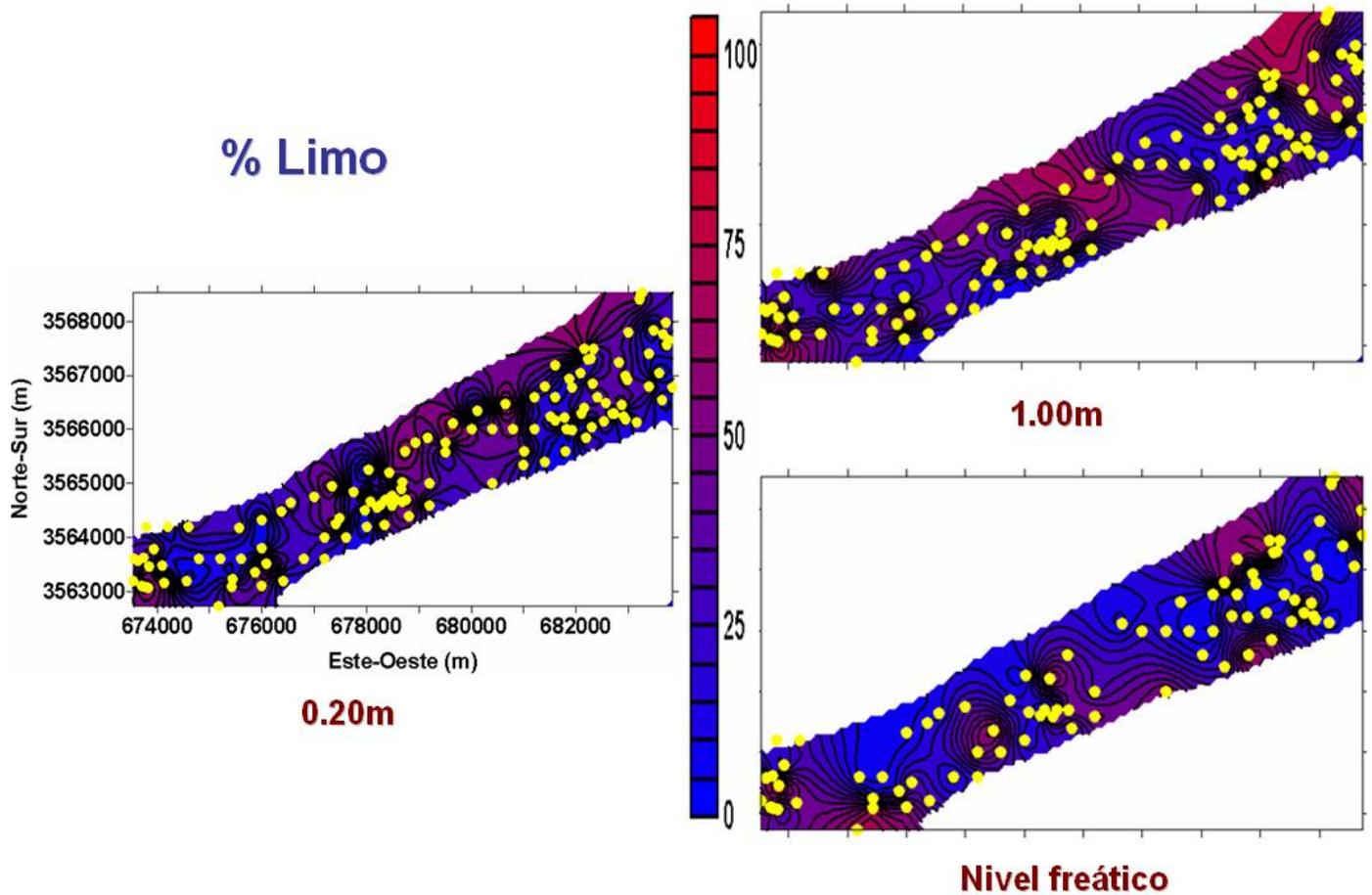


Fig. 10. Distribución espacial del contenido de limos en porcentaje para las tres profundidades de muestreo.

En el área de estudio, el pH se encuentra en promedio en 8.34, lo que podría indicar que la mayor parte de las zonas de nuestra área son propicios para suplir los nutrientes necesarios para la vegetación riparia, Fig. 11. La mayor alcalinidad se encuentra en la profundidad 2 (prof.1=8.32, prof.2=8.37, prof.3=8.34). Los nutrientes de las plantas cambian en su capacidad de ser absorbidos por las raíces en función del pH del suelo.

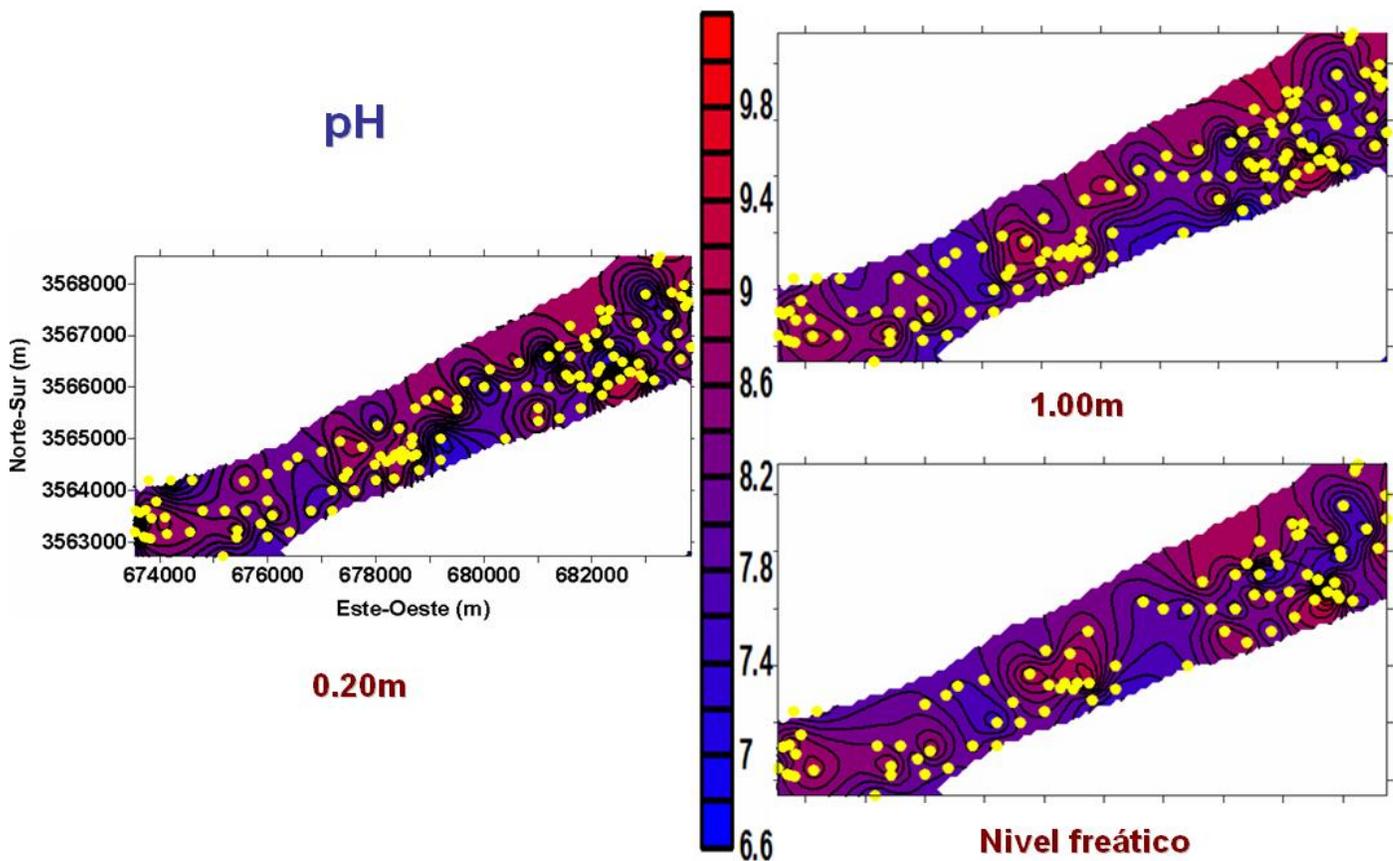


Fig. 11. Distribución espacial del pH las tres profundidades de muestreo.

La zona de estudio, la conductividad se encuentra en promedio en 5.01 mS/cm con un I.C. 95% (4.42-5.60), dando como resultado que en nuestra área, según la escala de conductividad, indica que el suelo es medianamente salino. El mayor contenido de sales se encuentra en la primera profundidad (prof.1=5.59, prof.2=4.53, prof.3=4.8), por los procesos evaporativos que presentan las primeras capas de suelo, Fig. 12.

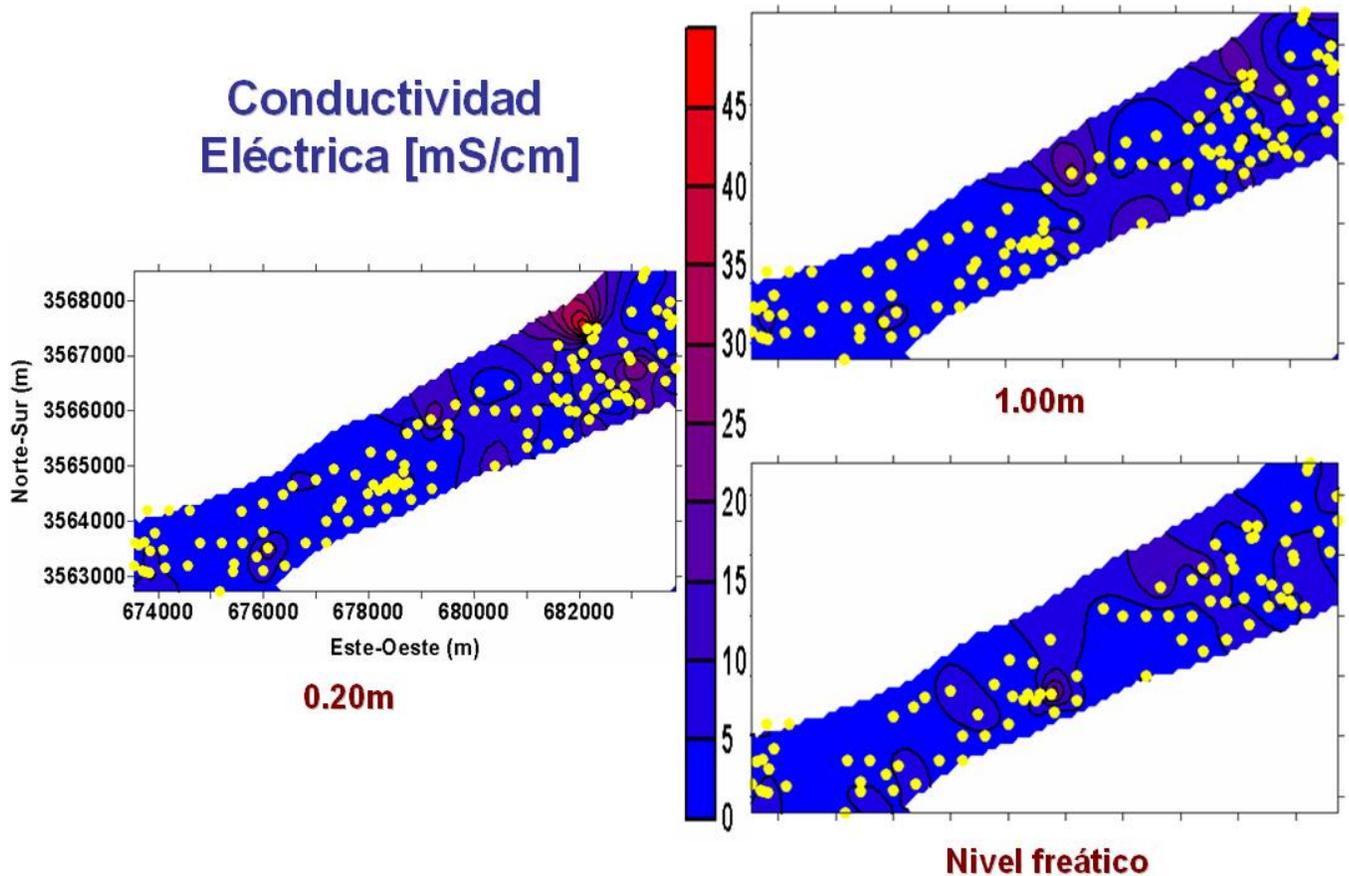


Fig. 12. Distribución espacial de la conductividad eléctrica para las tres profundidades de muestreo. El valor 0 representa valores de 0.01 mS/cm.

De acuerdo con los resultados obtenidos referente al suelo, se puede decir, que la mayor parte de la zona de estudio esta cubierta con una predominancia de arenas, seguida de limos y con sitios aislados de arcillas, en donde el pH del suelo es factible en ciertos sitios para que el corredor ripario se desarrolle favorablemente. La vegetación de la zona ha sido invadida por el pino salado, que ha ido desplazando parte de la vegetación riparia por su alta tolerancia a la salinidad, esto se observa de los altos valores de conductividad del suelo en los primeros estratos de suelo.

### 5.3 PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO EN LOS SITIOS DE MUESTREO DE SUELO

En la mayoría de los puntos se pudo obtener la profundidad al nivel freático (86 puntos de 124), de las que no se pudieron obtener fue por causa de que la barrena estaba muy abierta y el suelo era arena, otra fue por derrumbes y otra que el nivel estaba muy adentro y no había suficientes conexiones para llegar a él. En la Tabla 7, se muestra la relación de la profundidad del nivel freático en metros correspondientes al número de muestra. Dando como resultado un promedio de 3.51, con un I.C. (3.71-3.31).

**Tabla 7: Relación de las muestras en las que si se llegó al nivel freático.**

# de muestra	Nivel Freatico	# de muestra	Nivel Freatico	# de muestra	Nivel Freatico
2	2.73	57	2.34	199	3.75
3	2.97	59	2.90	202	4.43
5	3.50	60	2.50	204	3.30
12	2.47	65	3.05	205	3.30
13	3.08	68	2.70	206	3.30
15	2.80	70	2.60	207	1.60
17	4.00	71	2.50	208	4.50
18	3.84	74	4.00	209	4.32
19	4.00	75	2.51	211	2.30
21	3.54	76	3.70	213	5.32
23	2.73	79	4.00	214	4.45
24	4.00	80	3.60	215	4.00
25	4.00	81	1.35	217	3.10
28	3.96	83	4.00	218	4.57
29	3.70	86	2.76	221	3.94
31	1.32	87	3.68	222	2.90
34	3.40	88	4.00	223	3.80
35	1.87	182	4.80	227	3.05
36	4.00	183	4.45	228	2.80
40	2.00	186	5.15	229	2.80
43	3.82	187	5.00	230	2.85
44	4.00	190	4.30	232	4.93
45	2.80	191	4.68	233	4.20
46	3.40	192	5.10	235	4.70
47	3.14	193	4.40	236	5.40
51	2.50	194	3.22	237	2.30
53	2.06	195	5.50	241	2.53
55	3.70	196	4.00	243	3.20
56	4.00	198	4.70		

## 5.4 CORRELACIÓN DE LOS DATOS DE SUELO, COBERTURA VEGETAL Y PROFUNDIDAD AL NIVEL FREÁTICO

Después de preparar los datos, los resultados fueron los siguientes:

### ▪ Nivel freático

Analizamos la relación de las variables de suelos con el nivel freático. Encontramos una relación positiva entre el nivel freático y el porcentaje de arcilla en la profundidad 3 ( $p=0.048$ ), es decir, a mayor concentración de arcilla, el nivel freático aumentará, por efecto de impermeabilidad y/o capilaridad. En la Fig. 13, se muestra esta relación poniendo en el eje de las y, los valores del nivel freático y en el de las x los % de arcilla de dicha profundidad. ( $R^2=0.050$ ,  $F_{2,83}=3.27$ ,  $p>0.0428$ ),

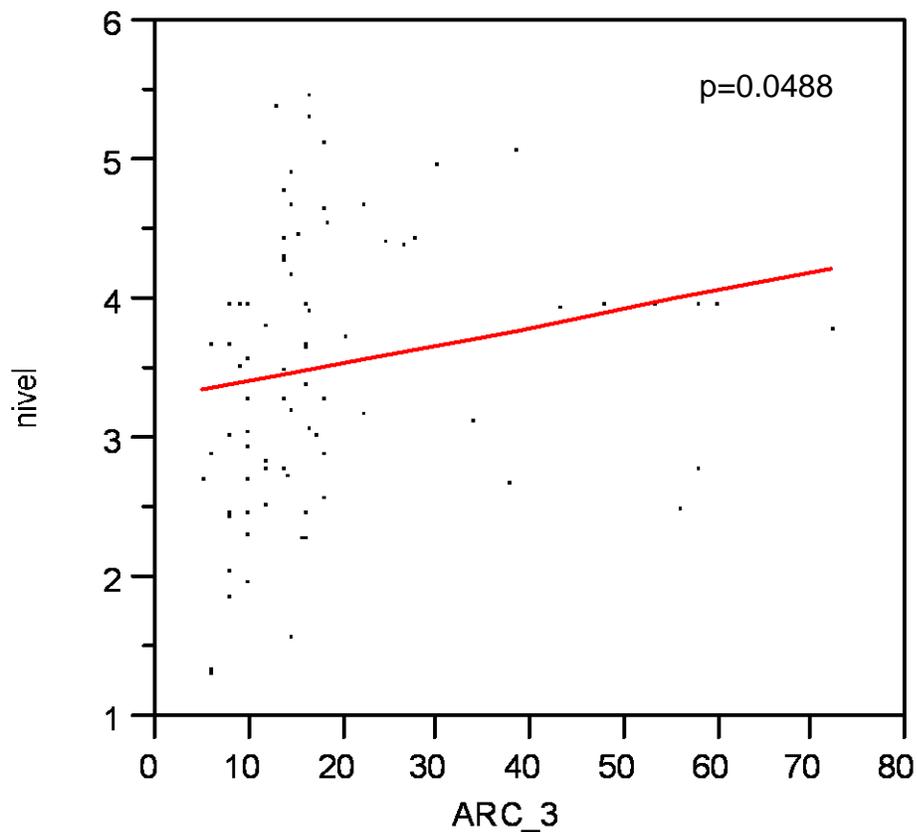


Fig. 13. Relación entre el nivel freático y las arcillas de la profundidad 3.

▪ **Alamo (*Fremont Cottonwood*)**

Se corrieron los mismos datos pero ahora utilizando al álamo como variable respuesta y como variables explicativas la textura y los datos del nivel freático, que dieron como resultado una significancia con limos de la profundidad 1 ( $p=0.0369$ ) y 2 ( $p=0.0213$ ), de forma positiva, y con la conductividad de la profundidad 2 ( $p=0.0266$ ), de forma negativa Fig. 14 ( $R^2=0.14$ ,  $F_{3,82}=5.99$ ,  $p>0.001$ ). Es decir entre mas limo haya en el área, mayor población de álamo habrá, pero entre mas salino esté el sitio, la población disminuirá.

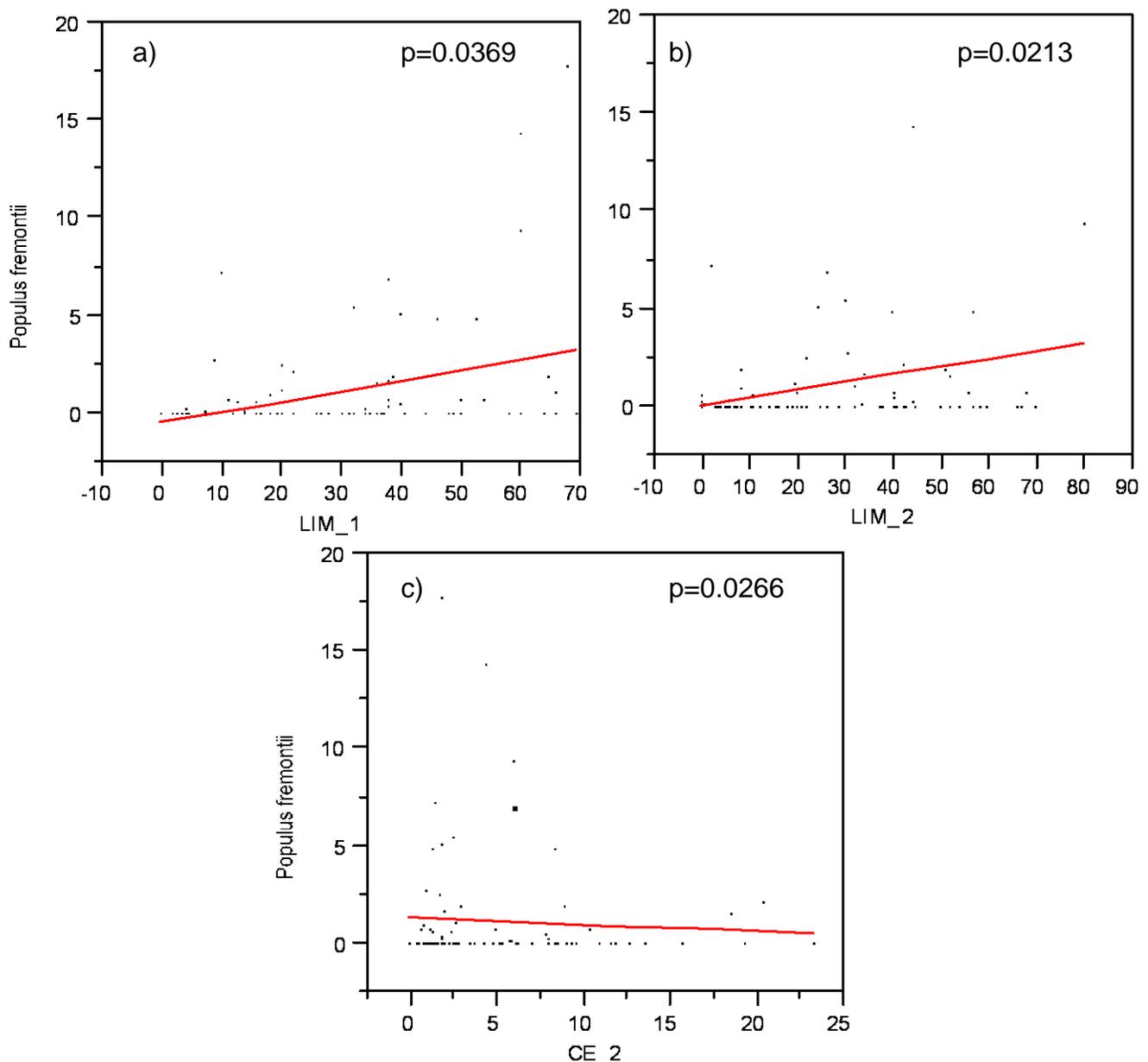


Fig. 14. Relación entre álamo y: (a) Limos profundidad 1, (b) limos profundidad 2 y (c) conductividad eléctrica profundidad 2.

- **Sauce (*Salix Goddingis*)**

Se corrieron los datos utilizando como variable respuesta el sauce y como variables explicativas la textura y los datos del nivel freático, que resultó significativo con el pH de la profundidad 3 ( $p=0.0005$ ), pero con una relación negativa. Fig. 15 ( $R^2=0.12$ ,  $F_{1,84}=12.96$ ,  $p>0.0005$ ). Si la alcalinidad de la profundidad 3 crece habrá menos población de sauce.

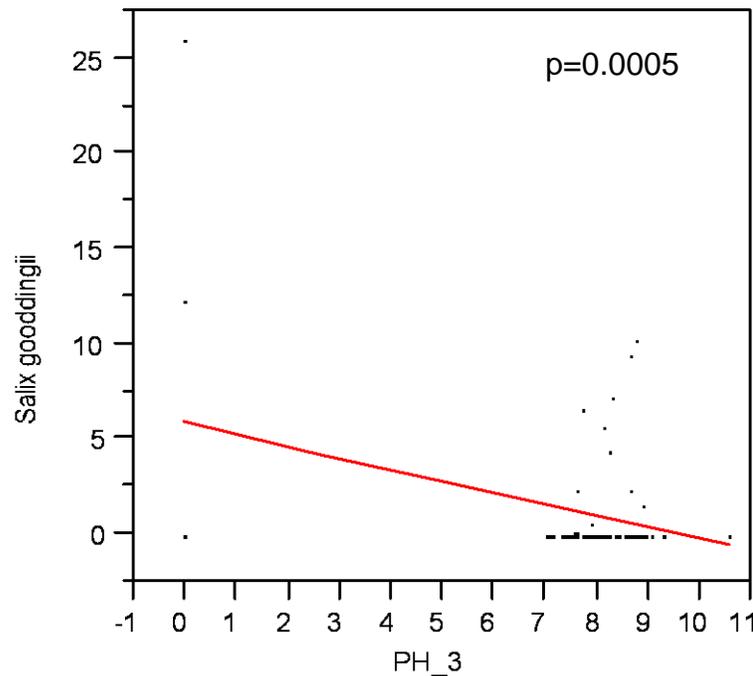


Fig. 15. Relación entre sauce y pH de la profundidad 3

- **Pino Salado (*Tamarix ramosissa*) y Pino Salado Seco (*Tamarix ramosissima Seca*)**

Para el pino salado y para el pino salado seco, también se utilizó el JMP IN como en los casos anteriores. Los datos se corrieron por separado, utilizándolos como variables respuesta correspondientemente, y como variables explicativas se utilizaron los datos de textura y nivel freático para cada uno, arrojando como resultado una significancia positiva en los dos casos pero para el primero con relación a los limos de la profundidad 3 ( $p=0.039$ ) Fig. 16 ( $R^2=0.03$ ,  $F_{1,84}=4.39$ ,  $p=0.039$ ) y para el segundo en relación a las arenas también de la profundidad 3 ( $p=0.056$ ), Fig. 17 ( $R^2=0.079$ ,  $F_{2,83}=4.67$ ,  $p=0.0119$ ) Es decir, el pino salado se ve favorecido en sitios con mayor concentración de limos y arena de la profundidad 3.

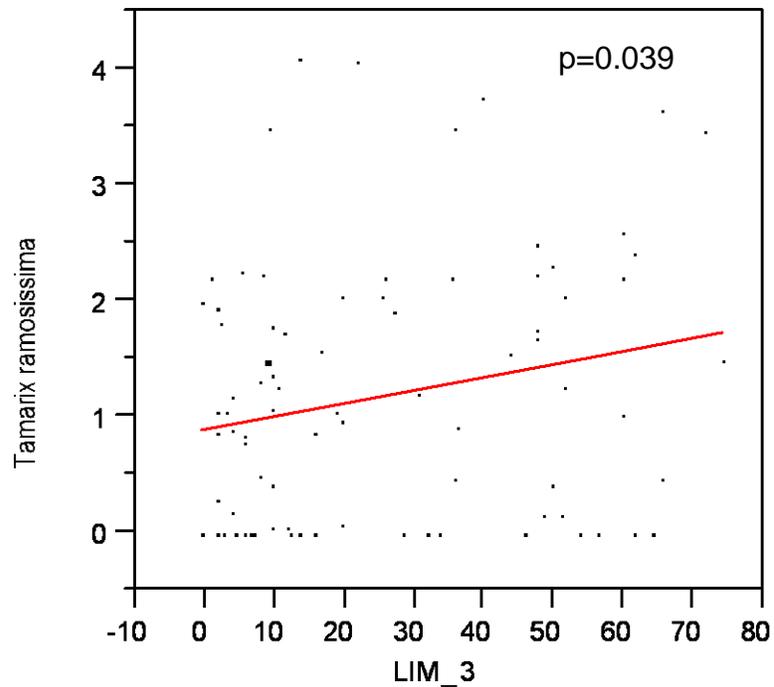


Fig. 16. Relación entre pino salado y limos de la profundidad 3

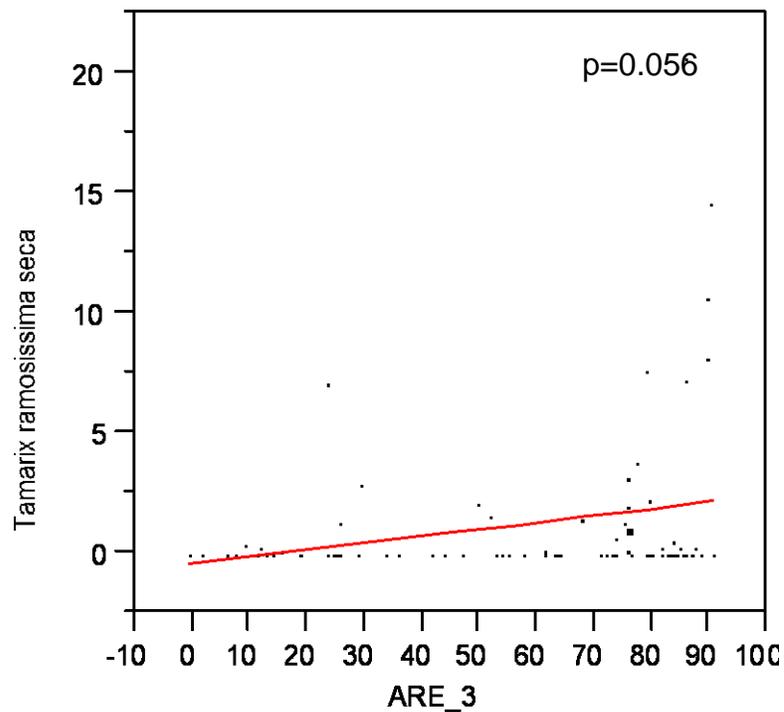


Fig. 17. Relación entre pino salado seco y arenas de la profundidad 3

La  $R^2$  representa el porcentaje de la variabilidad explicada por el modelo. En nuestro estudio, esta  $R^2$  es chica porque la abundancia y distribución de la vegetación se

explica principalmente por: 1) flujos superficiales (*Lite and Stromberg, 2005, Tiegs, 2004, Nagler, et al., 2005, Zamora et al., 2001*), 2) salinidad (*Glenn, et al., 1998*) y 3) flujos subterráneos (*Lite and Stromberg, 2005*). Pero vimos que con este estudio, las características del suelo también influyen en la comunidad vegetal de manera significativa, pero en menor medida.

## 6 DISCUSION

La cercanía de los sitios de muestreo de suelo al canal principal del RC (Apéndice A-12) se ve reflejada en la textura del suelo, mostrando una clara predominancia de limos y arcillas, en donde a veces las arcillas funcionan como pequeñas capas impermeables entre las arenas y los limos, entre más cercano este uno del RC mayor cantidad de arenas se encontrarán.

En la Fig. 5 se muestra la disponibilidad de los distintos nutrientes para distintos valores del pH (a mayor grosor de las bandas, más asimilables son), lo que nos permitiría deducir, en base a los resultados obtenidos del pH, que el suelo de la zona de estudio contiene los nutrientes necesarios para posibles plantas u organismos. Sin embargo si un suelo se torna más ácido o más básico, muchos de los nutrientes se hacen menos disponibles y esto podría influir en las restauraciones futuras en la zona de estudio.

La conductividad es mayor en las primeras capas de suelo posiblemente por los arrastres de sedimentos anteriores así como también por la evaporación. El análisis de la cobertura vegetal mostró que *Tamarix* y *Pluchea*, tienen una cobertura mucho mayor que el resto de las especies (55.106 % de área cubierta) esto es un indicativo que esta zona del corredor ripario del RC se ha visto sometida a una fuerte escasez de agua, alta salinidad del suelo y a frecuentes incendios. *Tamarix* y *Pluchea* no podrían dominar en un ambiente en el que otras especies, principalmente las nativas, han crecido históricamente, (Nagler et al., 2005).

Como se muestra en la Fig.12, conductividad va decreciendo con la profundidad del suelo, esto permitirá a los árboles grandes tener un mejor desarrollo porque sus raíces

atraviesan los primeros centímetros en donde hay una mayor concentración de sales, que no perjudicaran a su crecimiento.

Para reducir la salinidad de las primeras capas de los estratos, las plántulas de la vegetación nativa deberían germinar con ayuda de las inundaciones para que se permita una mayor población de la especie nativa, y así poder tener menor población de la vegetación invasora por su falta de tolerancia a estas inundaciones.

Los resultados expuestos con respecto a las correlaciones, nos ayuda a identificar las características en que se desarrollan nuestra vegetación riparia, mostrando relaciones positivas en el mayor de los casos, que ayudaría a poder tener una buena restauración en nuestra zona de estudio.

Si observamos como ejemplo, el caso del álamo, se muestra con una relación positiva con respecto a las texturas de los limos en las dos primeras profundidades, pero con una relación negativa con la conductividad eléctrica de la segunda profundidad Fig. 33. Esto nos hace pensar que los álamos a pesar de ser compatibles con los limos en esta profundidad, podrían tener dificultades en su desarrollo de enraizamiento al momento de pasar por esta misma, pero todo dependería de que tan salino este el suelo, su pH y que tan alejado este el nivel freático del sitio donde se quisiera hacer la restauración.

## 7 CONCLUSIONES

La representación en isocontornos y los diagramas ternarios muestra que la mayor parte de la zona de estudio está cubierta con una predominancia de arenas (56 %), seguida de limos (26 %) y con sitios aislados de arcillas (16 %). Además, que se trata de un suelo alcalino con pH promedio de 8.34. Por su parte, la conductividad se encuentra en 5.01 mS/cm, mostrando el mayor contenido de sales en la primera profundidad, acorde a los procesos evaporativos que presentan en las capas más superficiales de suelo y a la acumulación de sales por la presencia del pino salado.

La presencia de estratos de suelo más salinos en los primeros centímetros de profundidad, durante el proceso de germinación se haya llevado a cabo un escurrimiento extraordinario que haya bajado los niveles de salinidad. Después de la germinación y las primeras etapas de crecimiento los árboles con raíces profundas pueden continuar su crecimiento sin el efecto de esta capa salina superficial. A pesar de que en la zona de estudio la mayor parte del año el RC mantiene agua en su cauce, parece ser que no es suficiente para preservar la vegetación nativa. Por lo que es necesario considerar en las acciones de restauración tanto la reforestación de especies nativas como el aumento del caudal en el río.

El RC contiene una variación de arenas, limos y arcillas, en ocasiones las arcillas funcionan como pequeñas capas impermeables entre las arenas y los limos, no obstante existe una relación directa entre la cantidad de arenas y su cercanía al cauce del RC y la cobertura vegetal. Los análisis de correlación mostraron que la presencia de lentes arcillosos a la profundidad del nivel freático que ocasionan la disminución de la velocidad del flujo y la acumulación de sales, son favorables para la presencia de pino salado.

Con este trabajo se ha determinado la influencia de diversos parámetros en la actual cobertura vegetal de la zona de estudio, no obstante se requiere definir con precisión las zonas con características idóneas para llevar a cabo acciones de sustitución del pino salado por vegetación nativa con mayores posibilidades de éxito.

## 8 REFERENCIAS

- ArcView Gis 3.2. Copyright © 1992-1999. Environmental Systems Research Institute, Inc. All rights reserved.
- Auble, G. T., Friedman, J. M., and Scott, M. L., 1994. Relating Riparian Vegetation to Present and Future Streamflows. *Ecological Applications*, Vol. 4, No. 3. (Aug., 1994), pp. 544-554.
- Bureau of Reclamation, 2004. Lower Colorado River Multi-species Conservation Program. *Final Biological Assessment*, Vol. III, December 17.
- Cupul-Magaña G. y Ramírez-Hernández. J., 2008. Efecto de la Hidrología subterránea sobre la vegetación en la vega del Río Colorado en el Tramo FFCC.-Vado Carranza, México. Tesis en proceso de terminar.
- De la Peña, Ildefonso, (1973). Salinidad de los suelos agrícolas. Boletín Técnico, 10; SARH, México.
- Faulkner Tina, 1999. "Grupos comunitarios marcan la agenda para la conservación del delta del río colorado", *Borderlines* 52. Vol. 7, No. 1.
- Fuentes Espoz J. P. 2005, Ingeniero Forestal, M.S., Ph. D. Profesor Asistente, *El Suelo: Un Sistema Vivo*. Proyecto EXPLORA-CONICYT (ED9/04/076 ) de Valoración y Divulgación de la Ciencia y Tecnología., Departamento de Silvicultura Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. Casilla 9206, Santiago.
- Glenn, E. P., R. Tanner, S. Mendez, T. Kehret, D. Moore, J. Garcia y C. Valdés-Casillas. 1998. Growth rates, salt tolerance and water use characteristics of native and invasive riparian plants from the Delta of the Colorado River delta, Mexico. *Journal of Arid Environments* 40:281-294.
- Glenn, E. P., F. Zamora-Arroyo, P. L. Nagler, M. Briggs, W. Shaw y K. Flessa. 2001. Ecology and conservation biology of the Colorado River delta, Mexico. *Journal of Arid Environments* 49:5-15.
- Hoffman-Floerke D. y Mills-Terry J., 2004. SP-T3/5 Project effects on riparian resources, wetlands and associated floodplains. Draft final report. *State of California, The Resources Agency Department of Water Resources*.
- Kreyszing E., (1982) Introducción a la estadística matemática, principios y métodos. Editorial Limusa, S. A. México. 505pp.
- Lipschutz S., Schiller J. J., (2000) Introducción a la probabilidad y estadística. Editorial McGraw-Hill/Interamericana de España, S. A. U., Madrid, España, 452 pp.

- Milton, Susan J., 1992. Statistical methods in the biological and health sciences, Mc Graw Hill, pp. 211-213
- Nagler, P. L., Glenn, E. P. & Huete, A. R., 2001. Assessment of spectral vegetation indices for riparian vegetation in the Colorado River delta, Mexico. *Journal of Arid Environments* (2001) **49**: 91–110
- Nagler, P.L., Glenn, E., Thompson, T. L., 2003. Comparison of transpiration rates among saltcedar, cottonwood and willow trees by sap flow and canopy temperature methods. *Agricultural and Forest Meteorology* **116**:73–89
- Nagler, P. L., O. Hinojosa-Huerta, E. P. Glenn, R. Romo, J. García-Hernández, R. Romo, C. Curtis, A. R. Huete y S. G. Nelson, 2005. Regeneration of Native Trees in the Presence of Invasive Saltcedar in the Colorado River Delta, Mexico. *Conservation Biology*.**19**:1842-1852.
- Naiman, R. J., H. Decamps, 1997. The ecology of interfaces: Riparian Zones. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 1997. **28**:621-658
- Pérez-González D., (2006). Interacción Hidrodinámica del Río Colorado y el Acuífero del Valle de Mexicali en el Tramo FFCC. – Vado Col. Carranza. Tesis de Licenciatura no publicada. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ingeniería. Mexicali, México.
- Poff, N., Allan, J., Bain, M., Karr, J., Prestegard, K., Richter, B., Sparks, R. & Stromberg, J.(1997). The natural flow regime. *Bioscience*, **47**: 769–784.
- Ramírez-Hernández, J., 2006. Una visión de la problemática ambiental de Mexicali y su valle. Jorge Ramírez Hernández—Mexicali Baja California: Universidad Autónoma de Baja California. Págs. 93-135.
- Richardson, David M, Holmes, Patricia M., Esler, Karen J. Galatowitsch, Susan M., Stromberg, Juliet C., Kirkman, Steven P., Pysek, Petr and Hobbs, Richard J., 2007. Riparian vegetation: degradation, alien plant invasions, and restoration prospects. *Diversity and Distributions, (Diversity Distrib.)* **13**, 126–139
- Sall, J. and Lehman, A., 1996. JMP start statistics, Duxbury Press, Belmont CA.
- Stromberg, J . C., Beauchamp, V. B., Dixon, M. D., Lite, S. J and Paradzick, C., 2007. Importance of low-flow and high-flow characteristics to restoration of riparian vegetation along rivers in arid south-western United States. *Freshwater Biology* (2007) **52**, 651–679.
- Surfer Version 8.02, Oct 1, 2002. Surface Mapping System. Copyright © 1993-2002, Golden Software, Inc.

Tiegs, Scott, O'leary, John F, Pohl, Molly M. and Munill, Carrie L., 2005. Flood disturbance and riparian species diversity on the Colorado River Delta. *Biodiversity and Conservation* **14**: 1175–1194.

Zamora-Arroyo, F., P. Nagler, M. Briggs, D. Radtke, H. Rodríguez, J. García, C. Valdés, A. Huete y E. Glenn. 2001. Regeneration of native trees in response to flood releases from the United States into the delta of the Colorado River, Mexico. *Journal of Arid Environments* **49**:49-64.

Zamora-Arroyo, 2005. Prioridades de conservación en el Delta del Río Colorado. DR © 2005 Sonoran Institute, Environmental Defense, University of Arizona, Pronatura Noroeste Dirección de Conservación Sonora, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, World Wildlife Fund- Programa Golfo de California e Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT.

## 9 REFERENCIAS WEB

Baca-Garcia, S, 2005. Regresion y Correlacion. Monografias <http://www.monografias.com/trabajos30/regresion-correlacion/regresion-correlacion.shtml>

Desert Arrow-weed, Arrowweed Pluchea, Marsh Fleabane Tessaria sericea. Davesgarden.com, <http://davesgarden.com/guides/pf/go/98950/>

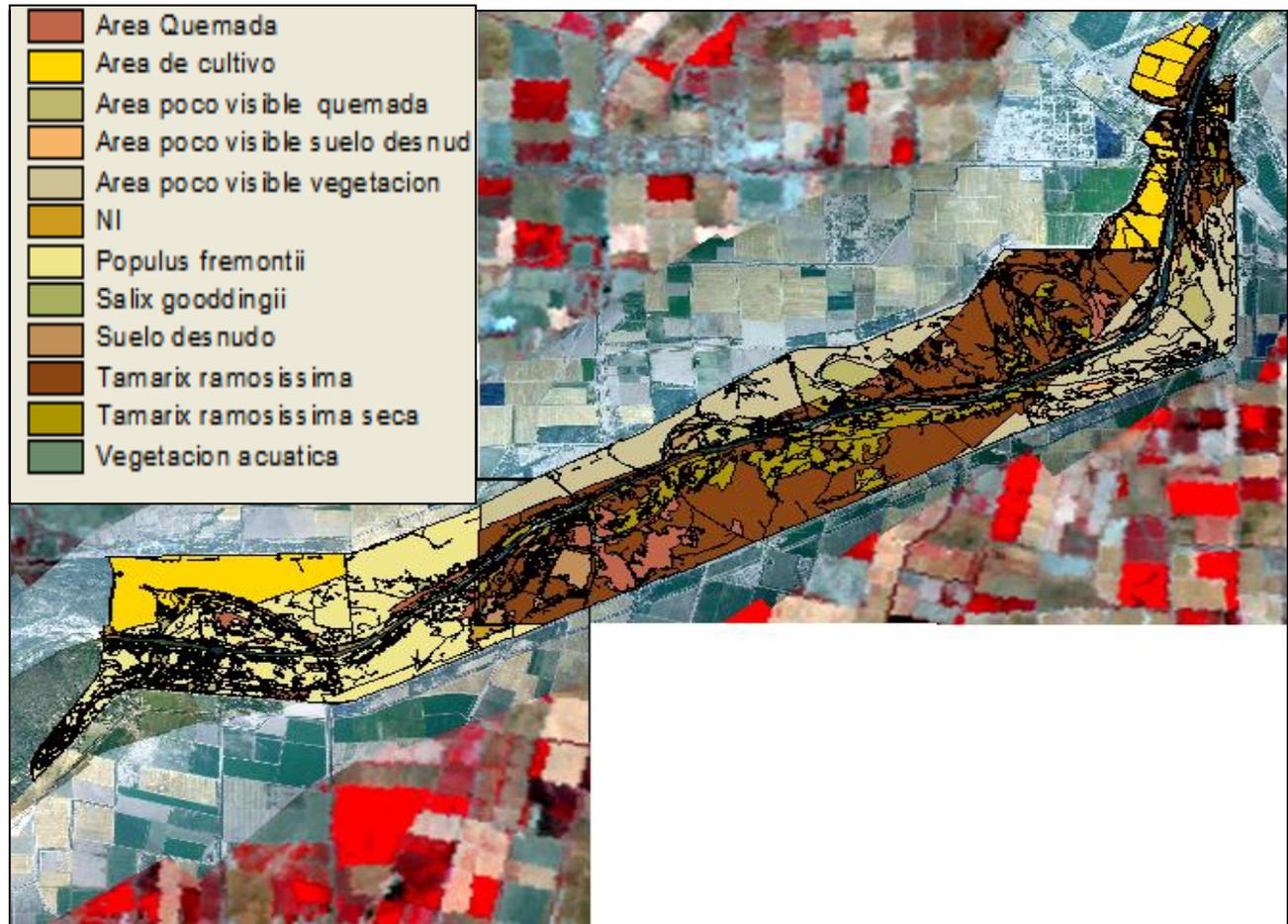
Goodding's Willow. Plant Information. Gardenguides.com <http://www.gardenguides.com/plants/plant.asp?symbol=SAGO#details>

McDaniel, Kirk C., DiTomaso, Joseph M. and Duncan, Celestine A., 2004. Tamarisk or Saltcedar. [http://nmdaweb.nmsu.edu/animal-and-plant-protection/tamarisk-saltcedar/mcdaniel\\_et\\_al.sc.pdf](http://nmdaweb.nmsu.edu/animal-and-plant-protection/tamarisk-saltcedar/mcdaniel_et_al.sc.pdf).

Salix gooddingii Ball. <http://jan.ucc.nau.edu/~plants-c/bio414/species%20pages/Salix%20gooddingii.htm>

Zaimes George, Nichols, Mary and Green, Douglas, 2007. Understanding Arizona's Riparian Areas. The University of Arizona. College of Agriculture and Life Sciences. <http://www.ag.arizona.edu/pubs/natresources/az1432.pdf#page=21>

## 10 APÉNDICES



A-1. Clasificación de la cobertura vegetal (*Cupul-Magaña y Ramírez-Hernández, 2008*)



**A-2a: Álamo (*Populus fremontii* mostrando árbol)**



**A-2b: Sauce (*Salix gooddingii* mostrando árbol)**



**A-2c: Cachanilla (*Pluchea sericea* mostrando planta)**

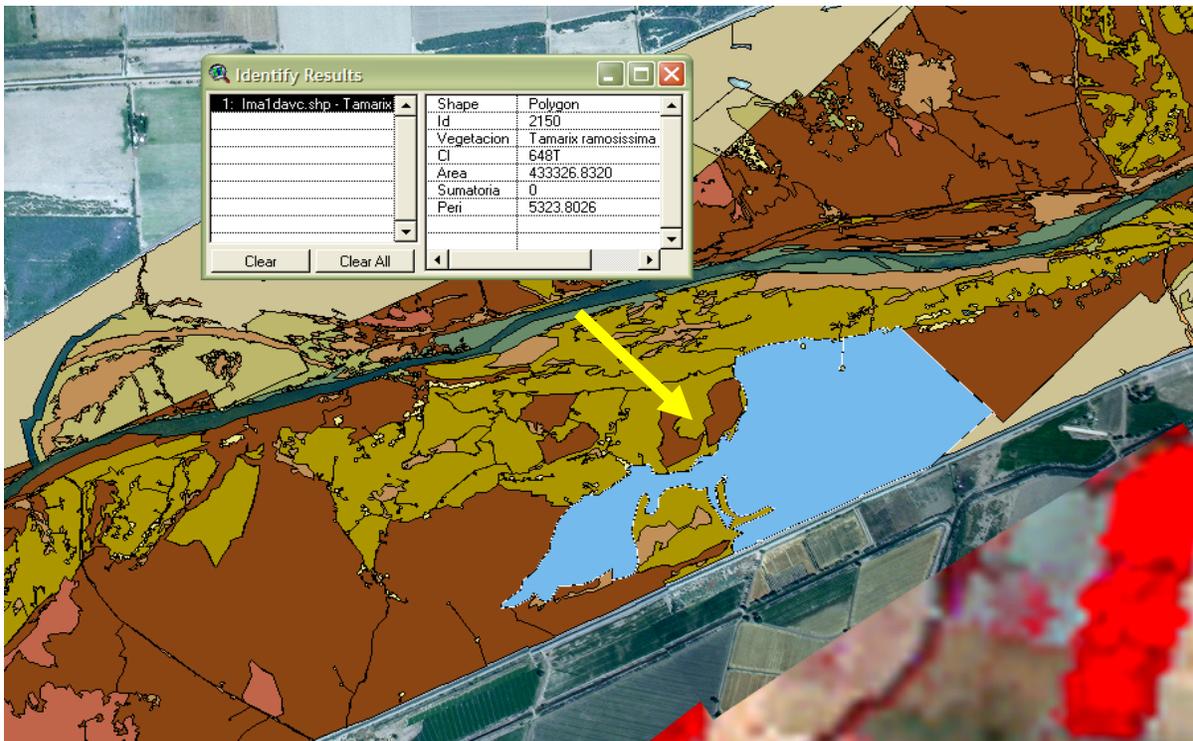


**A-2d: Pino Salado (*Tamarix ramosissima* mostrando planta)**

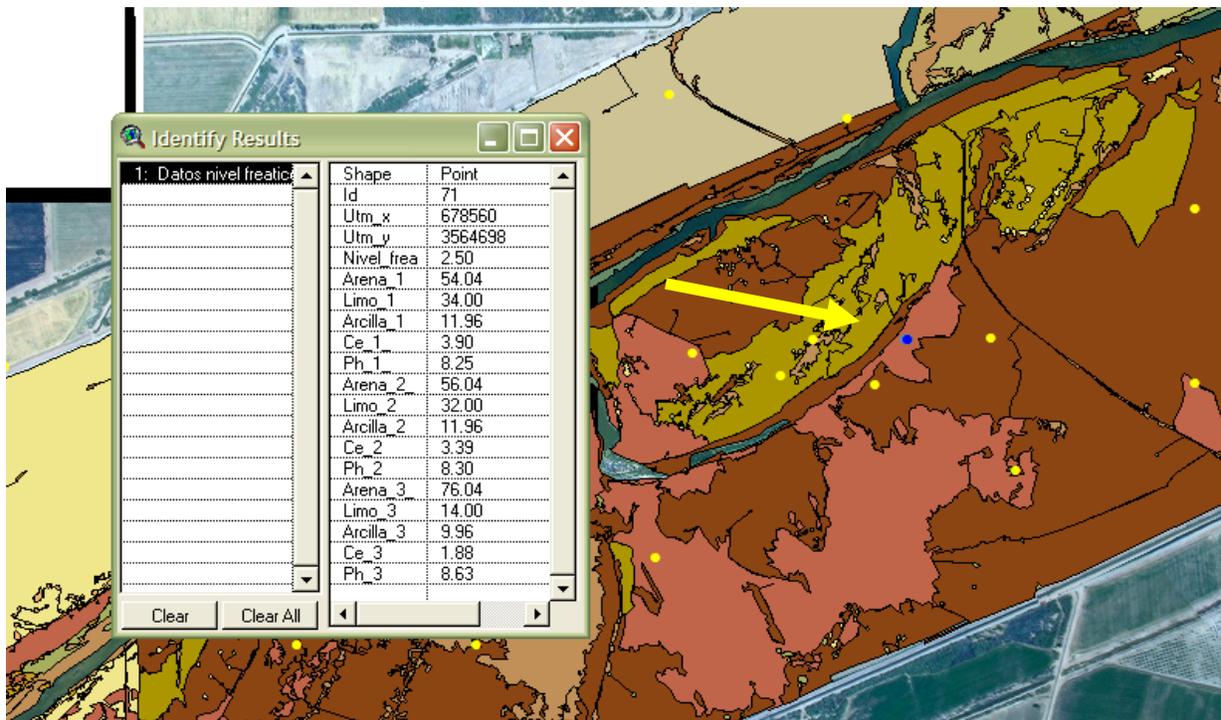
ID	nivel	ARE_1	LIM_1	ARC_1	CE_1	PH_1	ARE_2	LIM_2	ARC_2	CE_2	PH_2	ARE_3	LIM_3	ARC_3	CE_3	PH_3	Populus fremontii	Salix goodingii	Tamarix ramosissima	Tamarix ramosissima
2	2.73	46.04	40	13.96	9.14	8.8	50.04	40	9.96	7.9	8.93	80.04	10	9.96	1.26	8.81	0.515	10.174	1.772	2.134
3	2.97	42.04	44	13.96	17.05	8.95	76.04	16	7.96	0.74	8.86	58.04	32	9.96	6.48	8.96	0	0	0	0
5	3.50	34.04	50	15.96	3.6	8.77	0	0	0	0	0	26.04	60	13.96	2.2	8.9	0	0	2.601	0
12	2.47	60.04	10	29.96	1.37	0	92.04	2	5.96	1.46	0	90.04	2	7.96	4.6	0	7.285	12.267	0.282	8.108
13	3.08	20.04	26	53.96	5.52	0	46.04	40	13.96	1.49	0	84.04	6	9.96	3.51	0	0	0	0.767	0
15	2.80	52.04	38	9.96	0.8	0	56.04	34	9.96	2.04	0	26.04	60	13.96	11.8	0	1.738	0	1.026	1.281
17	4.00	54.04	36	9.96	5	0	64.04	26	9.96	2.65	0	24.04	16	59.96	4.75	0	0	0	0	0
18	3.84	46.04	40	13.96	2.3	0	64.04	24	11.96	1.91	0	26.04	62	11.96	9.74	0	5.156	26.061	2.401	0
19	4.00	56.04	30	13.96	27	0	46.04	42	11.96	11.63	0	86.04	6	7.96	9.37	0	0	0	0	0
21	3.54	84.04	8.72	7.24	2.61	8.87	62.04	30.72	7.24	0.87	9.1	74.04	16.72	9.24	1.91	8.95	2.774	0	1.566	0.536
23	2.73	82.04	12.72	5.24	2.82	8.96	84.04	10.72	5.24	2.4	9.2	84.04	10.72	5.24	1.84	9.08	0.600	0	1.252	0.452
24	4.00	24.04	64.72	11.24	15.44	8.67	34.04	50.72	15.24	8.86	8.83	16.04	30.72	53.24	7.15	8.91	1.888	0	1.211	0.120
25	4.00	50.04	40.72	9.24	8.68	8.82	30.04	56.72	13.24	12.59	8.74	82.04	8.72	9.24	5.08	8.9	0	0	2.233	0
28	3.96	66.04	26.72	7.24	8.66	8.8	86.04	6.72	7.24	3.74	8.96	8.04	48.72	43.24	11.4	8.69	0	0	0.144	0
29	3.70	87.32	2.72	9.96	1.59	8.68	43.32	44.72	11.96	6.29	8.66	87.32	6.72	5.96	3.67	8.93	0	0	0	0
31	1.32	89.32	4.72	5.96	2.62	9.14	89.32	4.72	5.96	2.61	9.02	91.32	2.72	5.96	3.48	9	0	0	0	0
34	3.40	57.32	34.72	7.96	2.22	9.04	65.32	28.72	5.96	2.53	9.23	87.32	4.72	7.96	2.83	9.09	0	0	0	0
35	1.87	89.32	2.72	7.96	1.56	8.9	89.32	2.72	7.96	2.77	9.04	89.32	2.72	7.96	2.42	9.09	0	0	0	0
36	4.00	73.32	16.72	9.96	4.34	8.97	13.32	66.72	19.96	19.37	9.31	19.32	64.72	15.96	9.71	10.6	0	0	0	0
40	2.00	62.04	26	11.96	1.84	8.87	68.04	20	11.96	6.05	8.75	36.04	54	9.96	1.91	8.85	0	0	0	0
43	3.82	56.04	32	11.96	18.86	8.9	8.04	70	21.96	13.62	8.7	42.04	46	11.96	7.1	8.81	0	0	0	0
44	4.00	48.04	38	13.96	9.91	8.83	48.04	40	11.96	4.95	8.81	0.04	52	47.96	4.1	8.76	0.790	0	1.254	0
45	2.80	26.04	60	13.96	5.74	0	12.04	66	21.96	6.12	8.75	8.04	34	57.96	9.83	8.6	0	0	0	0
46	3.40	14.04	64	21.96	5.2	0	2.04	52	45.96	23.36	8.93	34.04	50	15.96	5.82	8.45	0	0	2.309	0
47	3.14	62.04	28	9.96	14.32	8.69	56.04	32	11.96	8.42	8.76	6.04	60	33.96	15.27	8.91	0	1.581	2.201	0
51	2.50	70.04	20	9.96	5.09	8.66	66.04	22	11.96	1.75	8.86	12.04	72	15.96	3.53	8.33	2.489	7.207	3.465	0.155
53	2.06	10.6	69.44	19.96	2.05	8.93	86.6	3.44	9.96	0.78	8.93	84.6	7.44	7.96	15.6	8.96	0	0	0	0
55	3.70	74.6	7.44	17.96	6.73	8.86	52.6	33.44	13.96	5.73	8.77	86.6	5.44	7.96	4.5	8.79	0.176	0	2.261	7.156
56	4.00	54.6	31.44	13.96	9.49	8.81	24.6	59.44	15.96	11.84	8.63	64.6	25.44	9.96	6.05	8.75	0	0	2.052	0
57	2.34	70.6	19.44	9.96	6.3	9.13	84.6	7.44	7.96	1.86	8.93	54.6	35.44	9.96	6.71	8.82	0	0	2.189	0
59	2.90	84.6	7.44	7.96	0.57	8.87	88.6	3.44	7.96	0.43	8.84	90.6	3.44	5.96	0	8.87	0	0	1.049	14.545
60	2.50	16.04	66	17.96	5.13	8.4	54.04	32	13.96	2.63	8.36	76.04	16	7.96	1	8.7	1.153	0	0.869	1.847
65	3.05	68.04	18	13.96	1.48	8.77	84.04	8	7.96	0.84	8.47	90.04	2	7.96	1.56	8.57	0.989	0	0.860	10.623
68	2.70	22.04	58	19.96	6.05	8.65	20.04	58	21.96	10.98	9.2	14.04	48	37.96	28.2	9.36	0	0	2.486	0
70	2.60	44.04	44	11.96	0.85	8.65	36.04	50	13.96	1.22	8.73	30.04	52	17.96	10.42	8.1	0	0	2.035	2.881
71	2.50	54.04	34	11.96	3.9	8.25	56.04	32	11.96	3.39	8.3	76.04	14	9.96	1.88	8.63	0	0	4.088	3.152
74	4.00	20.04	54	25.96	8.98	9.11	8.04	68	23.96	10.42	9.4	84.04	8	7.96	1.04	8.72	0.718	9.372	0.475	0
75	2.51	38.04	50	11.96	0.4	8.67	30.04	56	13.96	0.58	8.46	8.04	36	55.96	1.01	8.7	0.718	9.372	0.474	0
76	3.70	52.04	36	11.96	4.12	9.2	14.04	52	33.96	18.58	8.9	34.04	50	15.96	3.52	8.32	1.538	0	0.409	0
79	4.00	26.04	60	13.96	14.22	8.69	2.04	80	17.96	6	8.68	68.04	22	9.96	9.44	8.59	9.380	0	4.066	1.351
80	3.60	18.04	59.96	22	3.56	8.83	40.04	43.96	16	4.37	8.67	24.04	65.96	10	4.76	8.72	14.396	2.273	3.644	0
81	1.35	48.04	45.96	6	2.57	8.77	54.04	39.96	6	1.26	8.9	50.04	43.96	6	1.63	8.97	4.895	0	1.534	2.104
83	4.00	26.04	67.96	6	2.88	8.81	20.04	65.96	14	1.86	8.79	2.04	39.96	58	11.5	8.7	17.786	2.273	3.762	0
86	2.76	65.32	26.68	8	0.75	8.85	11.32	18.68	70	5.2	8.78	29.32	56.68	14	3.3	8.62	0	0	0	0
87	3.68	31.32	52.68	16	8.31	8.72	33.32	56.68	10	8.43	8.75	93.32	74.68	16	4.58	8.66	4.888	0	1.495	0.307
88	4.00	51.32	36.68	12	1.25	8.8	47.32	40.68	12	1.05	8.94	79.32	12.68	8	1.51	9.11	0	0	0	0
182	4.80	72.04	12	15.96	1.1	8.26	74.04	10	15.96	1.13	8.19	82.04	4	13.96	1.11	8.4	0	0	1.184	0.143
183	4.45	71.64	11.12	17.24	1.42	7.99	74.04	20	15.96	1.13	8.21	82.04	4	13.96	1.57	8.23	0.715	0	0.871	0
186	5.15	46.04	38	15.96	7.56	7.54	82.04	6	11.96	1.84	7.65	34.04	48	17.96	4.22	8.06	0.360	0	2.230	0
187	5.00	68.04	14	17.96	1.33	8.09	84.36	6.72	8.92	0.82	7.6	44.04	26	29.96	6.29	7.97	0	0.617	2.200	0
190	4.30	56.04	26	17.96	0.81	7.65	64.04	22	13.96	0.49	7.86	80.04	6	13.96	3.35	7.93	0	0	0.818	0
191	4.68	62.04	18	19.96	1.14	8.2	82.04	4	13.96	1.94	8.23	62.04	19.96	18	2	8.32	0	0	2.040	0
192	5.10	64.04	16	19.96	1.63	8.34	84.04	0	15.96	1.13	8.21	24.76	36.72	38.52	3.57	8.08	0	0	0.904	0
193	4.40	54.04	26	19.96	1.28	7.62	76.36	12	11.64	0.78	7.32	25.48	48	26.52	1.32	7.38	0	0	1.750	0
194	3.22	84.04	4	11.96	1.92	7.83	86.04	0	13.96	1.84	8.08	75.48	10	14.52	3.8	8.26	0.229	0	0.420	1.239
195	5.50	22.04	48	29.96	2.09	7.79	86.04	4	9.96	0.83	8.31	64.2	19.28	16.52	1.34	7.68	0	0	1.035	0
196	4.00	36.04	36	27.96	5.2	8.05	34.04	38	27.96	1.05	7.72	55.32	28.72	15.96	6.9	7.88	0	0	0	0
198	4.70	58.04	20	21.96	2.3	7.34	80.04	6	13.96	7.95	7.86	29.48	48	22.52	6.48	7.48	0	0	1.677	0
199	3.75	30.04	44	25.96	2.34	6.94	25.48	50	24.52	2.19	7.63	52.2	27.28	20.52	3.56	8.03	0	0	1.915	1.489
202	4.43	42.04	37.28	20.68	13.92	7.85	40.36	42.72	16.92	15.71	7.32	24.04	51.28	24.68	5.5	7.8	0	0	0.144	7.036
204	3.30	12.04	50	37.96	7.5	7.28	66.2	18	15.8	1.6	8.1	62.04	20	17.96	1.3	7.98	0	0	0.069	0.067
205	3.30	46.04	38	15.96	6.8	7.97	56.04	26	17.96	6.09	8.15	76.92	9.28	13.8	2.18	7.68	6.888	0	1.467	0.839
206	3.30	38.36	48.72	12.92	10.8	7.95	74.36	8.4	17.24	4.27	8	88.2	2	9.8	2.4	8.2	0	0	1.927	0.262
207	1.60	66.04	14	19.96	4.4	7.94	88.36	0.56	11.08	5.91	7.8	85.32	0	14.68	3.74	7.74	0.115	6.509	1.989	0.222
208	4.50	64.36	20	15.64	7.08	7.05	71.08	19.28	9.64	3.75	7.24	83.32	1.28	15.4	4.01	8.1	1.271	0	2.208	0
209	4.32	74.04	12	13.96	2.6	8.03	75.32</													



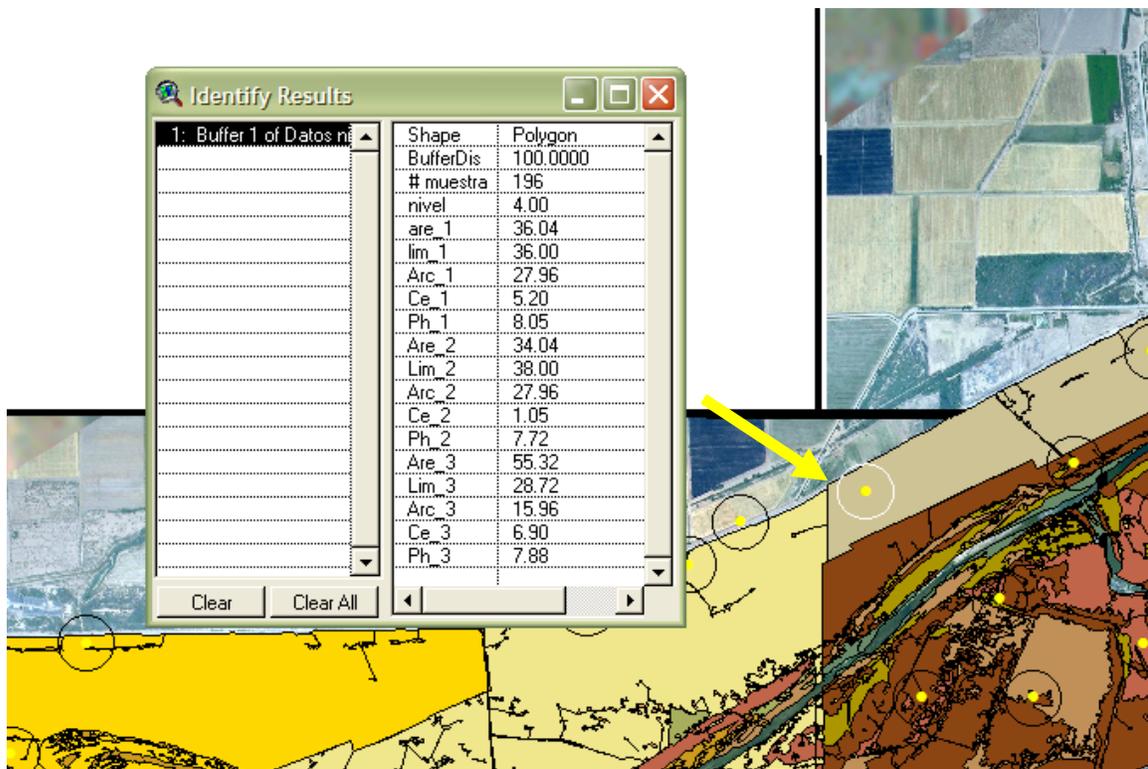
A-4. Imagen de satélite Lansat Tematic Mapper (2002)



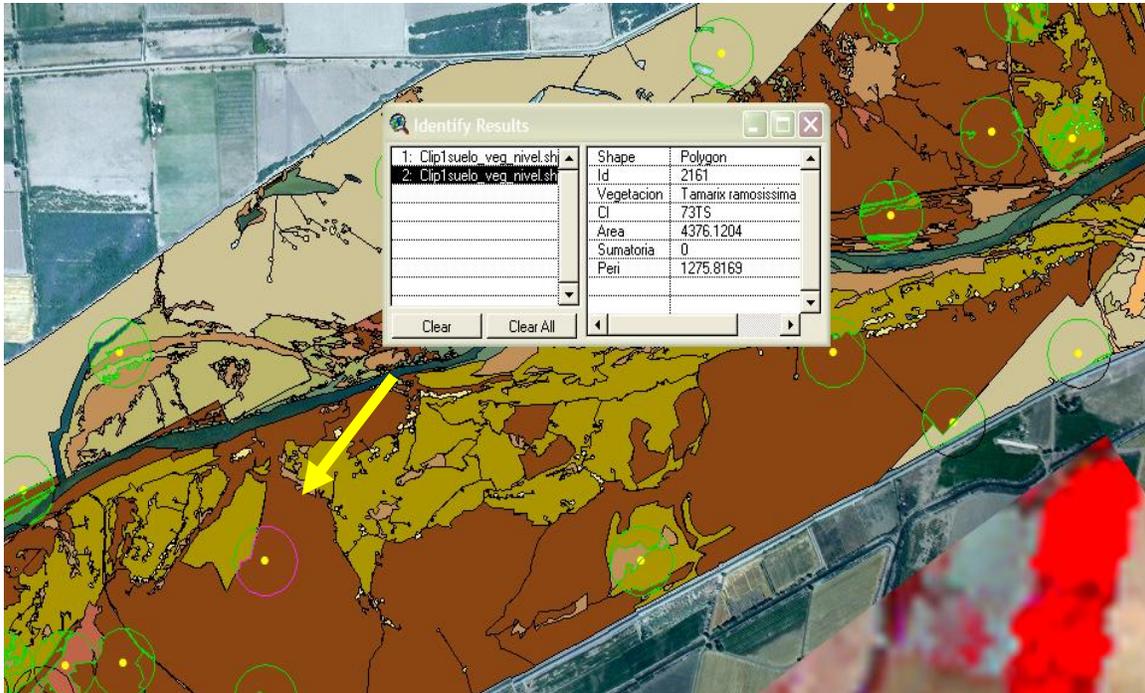
A-5. Clasificación visual de la vegetación en la zona de estudio.



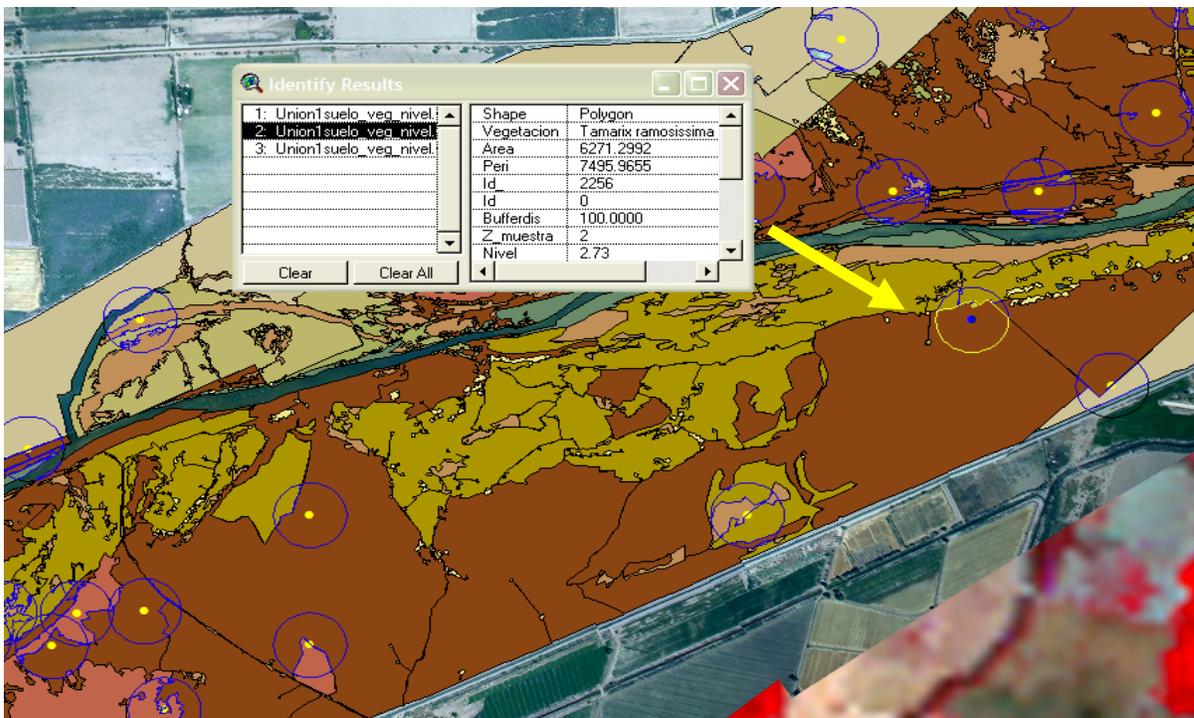
A-6. Ejemplo de los datos de la muestra #71, donde se muestra el numero de muestra, su ubicación en la zona, su composición de textura, pH y CE en las tres profundidades.



A-7. Ejemplo del buffer, se observa los datos de la muestras mas los 100m de radio.



**A-8. Clip mostrando información de la vegetación en un punto. Se observa que este punto esta formado por dos clips.**



**A-9. Unión de los datos de vegetación y suelo alrededor de los puntos. En este punto vemos que esta compuesto por 3 uniones.**

# MUESTRA	ARENA 1	LIMO 1	ARCILLA 1	ARENA 2	LIMO 2	ARCILLA 2	ARENA 3	LIMO 3	ARCILLA 3
0	6.04	52.00	41.96	82.04	6.00	11.96			
1	88.04	2.00	9.96	48.04	40.00	11.96			
2	46.04	40.00	13.96	50.04	40.00	9.96	80.04	10.00	9.96
3	42.04	44.00	13.96	76.04	16.00	7.96	58.04	32.00	9.96
4	66.04	24.00	9.96						
5	34.04	50.00	15.96				26.04	60.00	13.96
8	56.04	30.00	13.96	74.04	16.00	9.96			
9	22.04	58.00	19.96	56.04	34.00	9.96			
11	90.04	2.00	7.96	90.04	2.00	7.96			
12	60.04	10.00	29.96	92.04	2.00	5.96	90.04	2.00	7.96
13	20.04	26.00	53.96	46.04	40.00	13.96	84.04	6.00	9.96
15	52.04	38.00	9.96	56.04	34.00	9.96	26.04	60.00	13.96
17	54.04	36.00	9.96	64.04	26.00	9.96	24.04	16.00	59.96
18	46.04	40.00	13.96	64.04	24.00	11.96	26.04	62.00	11.96
19	56.04	30.00	13.96	46.04	42.00	11.96	86.04	6.00	7.96
21	84.04	8.72	7.24	62.04	30.72	7.24	74.04	16.72	9.24
22	74.04	20.72	5.24						
23	82.04	12.72	5.24	84.04	10.72	5.24	84.04	10.72	5.24
24	24.04	64.72	11.24	34.04	50.72	15.24	16.04	30.72	53.24
25	50.04	40.72	9.24	30.04	56.72	13.24	82.04	8.72	9.24
26	46.04	34.72	19.24	70.04	20.72	9.24			
27	42.04	44.72	13.24	72.04	20.72	7.24			
28	66.04	26.72	7.24	86.04	6.72	7.24	8.04	48.72	43.24
29	87.32	2.72	9.96	43.32	44.72	11.96	87.32	6.72	5.96
30	91.32	2.72	5.96	89.32	2.72	7.96			
31	89.32	4.72	5.96	89.32	4.72	5.96	91.32	2.72	5.96
32	87.32	6.72	5.96	85.32	6.72	7.96			
33	55.32	34.72	9.96	77.32	14.72	7.96			
34	57.32	34.72	7.96	65.32	28.72	5.96	87.32	4.72	7.96
35	89.32	2.72	7.96	89.32	2.72	7.96	89.32	2.72	7.96
36	73.32	16.72	9.96	13.32	66.72	19.96	19.32	64.72	15.96
38	92.04	2.72	5.24	92.04	2.72	5.24			
40	62.04	26.00	11.96	68.04	20.00	11.96	36.04	54.00	9.96
42	64.04	24.00	11.96	46.04	42.00	11.96			
43	56.04	32.00	11.96	8.04	70.00	21.96	42.04	46.00	11.96
44	48.04	38.00	13.96	48.04	40.00	11.96	0.04	52.00	47.96
45	26.04	60.00	13.96	12.04	66.00	21.96	8.04	34.00	57.96
46	14.04	64.00	21.96	2.04	52.00	45.96	34.04	50.00	15.96
47	62.04	28.00	9.96	56.04	32.00	11.96	6.04	60.00	33.96
49	8.04	54.00	37.96						
50	2.60	37.44	59.96	6.60	49.44	43.96			
51	70.04	20.00	9.96	66.04	22.00	11.96	12.04	72.00	15.96
52	22.60	55.44	21.96	26.60	57.44	15.96			
53	10.60	69.44	19.96	86.60	3.44	9.96	84.60	7.44	7.96
54	84.04	8.00	7.96	82.04	8.00	9.96			
55	74.60	7.44	17.96	52.60	33.44	13.96	86.60	5.44	7.96
56	54.60	31.44	13.96	24.60	59.44	15.96	64.60	25.44	9.96
57	70.60	19.44	9.96	84.60	7.44	7.96	54.60	35.44	9.96
58	70.60	15.44	13.96	84.60	5.44	9.96			
59	84.60	7.44	7.96	88.60	3.44	7.96	90.60	3.44	5.96
60	16.04	66.00	17.96	54.04	32.00	13.96	76.04	16.00	7.96
61	42.04	38.00	19.96	76.04	14.00	9.96			
62	86.04	4.00	9.96						
63	64.04	26.00	9.96	58.04	32.00	9.96			
64	88.04	4.00	7.96	84.04	6.00	9.96			
65	68.04	18.00	13.96	84.04	8.00	7.96	90.04	2.00	7.96
67	66.04	20.00	13.96						
68	22.04	58.00	19.96	20.04	58.00	21.96	14.04	48.00	37.96
69	34.04	40.00	25.96	76.04	14.00	9.96			
70	44.04	44.00	11.96	36.04	50.00	13.96	30.04	52.00	17.96
71	54.04	34.00	11.96	56.04	32.00	11.96	76.04	14.00	9.96
72	84.04	6.00	9.96	52.04	38.00	9.96			
74	20.04	54.00	25.96	8.04	68.00	23.96	84.04	8.00	7.96
75	38.04	50.00	11.96	30.04	56.00	13.96	8.04	36.00	55.96
76	52.04	36.00	11.96	14.04	52.00	33.96	34.04	50.00	15.96
79	26.04	60.00	13.96	2.04	80.00	17.96	68.04	22.00	9.96
80	18.04	59.96	22.00	40.04	43.96	16.00	24.04	65.96	10.00
81	48.04	45.96	6.00	54.04	39.96	6.00	50.04	43.96	6.00
83	26.04	67.96	6.00	20.04	65.96	14.00	2.04	39.96	58.00
85	82.04	9.96	8.00	84.04	11.96	4.00			
86	65.32	26.68	8.00	11.32	18.68	70.00	29.32	56.68	14.00
87	31.32	52.68	16.00	33.32	56.68	10.00	9.32	74.68	16.00
88	51.32	36.68	12.00	47.32	40.68	12.00	79.32	12.68	8.00

**A-10a. Información de porcentajes de Arena, Arcilla y Limos en las tres profundidades de la primera campaña.**

Mean	53.6860
Std Dev	27.5627
Std Error Mean	2.0210
Upper 95% Mean	57.6732
Lower 95% Mean	49.6988
N	186.0000
Sum Weights	186.0000
Sum	9985.6000
Variance	759.7048
Skewness	-0.2822
Kurtosis	-1.1737
CV	51.3406

Arena

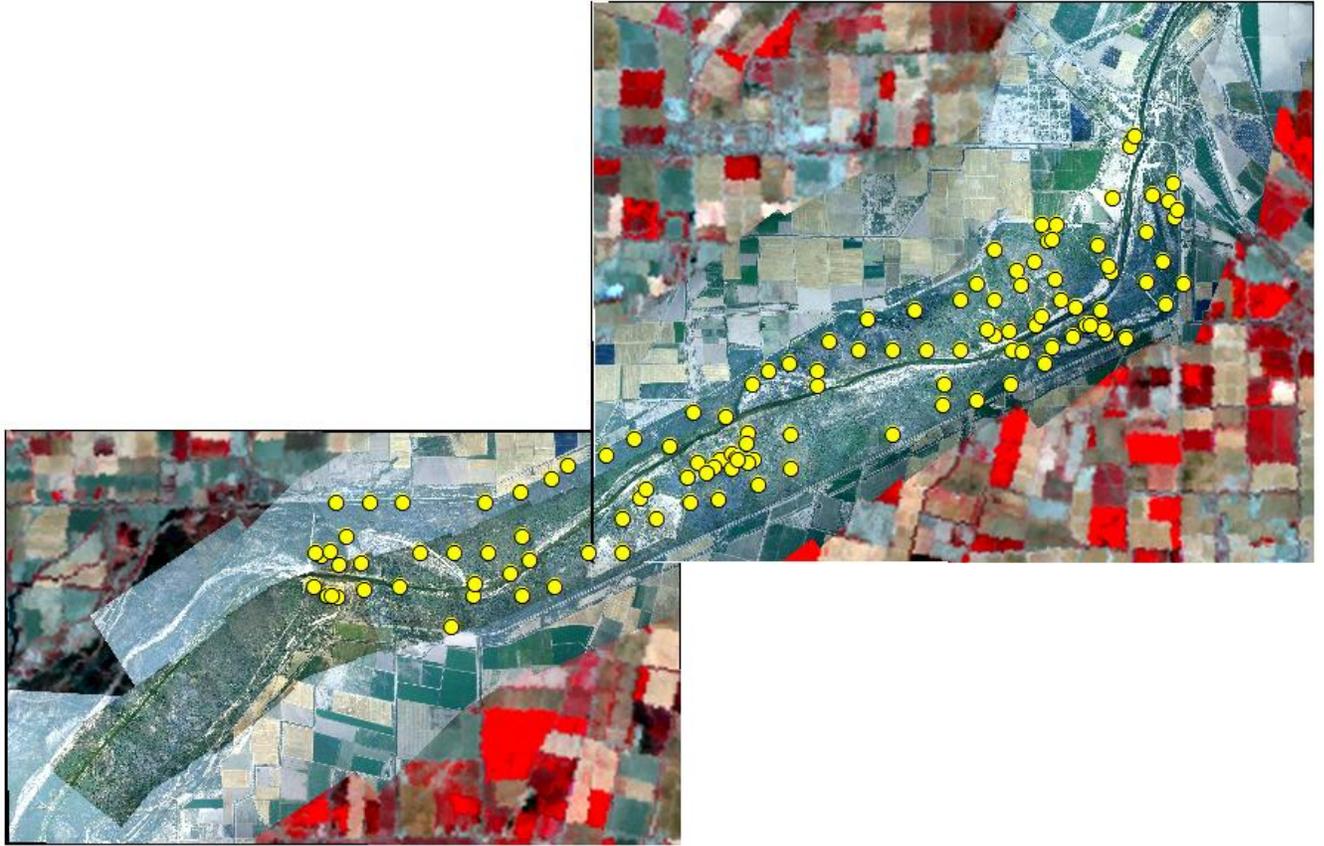
Mean	15.0189
Std Dev	12.1487
Std Error Mean	0.8908
Upper 95% Mean	16.7763
Lower 95% Mean	13.2615
N	186.0000
Sum Weights	186.0000
Sum	2793.5200
Variance	147.5900
Skewness	2.5420
Kurtosis	6.3055
CV	80.8890

Arcilla

Mean	31.2951
Std Dev	21.0936
Std Error Mean	1.5467
Upper 95% Mean	34.3464
Lower 95% Mean	28.2437
N	186.0000
Sum Weights	186.0000
Sum	5820.8800
Variance	444.9383
Skewness	0.2136
Kurtosis	-1.1241
CV	67.4022

Limo

**A-10b. Información arrojada por el programa Jumper para poder definir “n” para la segunda campaña.**



**A-11. Sitios de muestreo de suelo en la zona de estudio.**