

# Sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante filtro de arena recirculante para aplicación en comunidades y complejos aislados

Por Ferdinand Quiñones

El tratamiento de las aguas sanitarias domésticas generadas en zonas rurales y aisladas en Puerto Rico representa un reto ambiental y económico para la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA). La AAA provee sistemas de recolección y tratamiento que sirven a aproximadamente el 55% de la población en la isla. En la mayor parte de las zonas rurales, así como en sectores significativos de los centros urbanos principales, las aguas sanitarias reciben tratamiento primario mediante pozos sépticos que descargan al medio ambiente. Aunque la AAA lleva a cabo un programa de mejoras a los sistemas sanitarios, el mismo tiene como meta servir al 75% de las residencias en la isla en los próximos 20 años, principalmente debido al alto costo de las interconexiones laterales en zonas rurales. Las comunidades aisladas seguirán utilizando pozos sépticos que la mayor parte del tiempo no proveen tratamiento adecuado a las aguas sanitarias. Estas descargas sanitarias son una de las fuentes principales de contaminantes tales como nutrientes (nitratos y fosfatos) para los acuíferos en la isla, particularmente en las regiones sur y norte (USGS, 2002; DRNA, 2004).

Una alternativa a las facilidades de la AAA son los sistemas sanitarios independientes. Existen varias modalidades de estos sistemas, entre ellos plantas de tratamiento compactas que proveen tratamiento avanzado. Sin embargo, el costo de estas plantas compactas y su operación son altos debido a la inversión capital inicial y el mantenimiento preventivo de sus componentes. Otra alternativa la constituyen sistemas “in situ” (*onsite*), que utilizan una combinación de pozos sépticos sellados para remover los sólidos y filtros de arena sellados (*recirculating sand filters, RSF*) donde se recircula el efluente del pozo séptico para proveer tratamiento secundario. El efluente se descarga mediante un sistema de riego por goteo o inyección subterránea. Esta tecnología se utiliza en varios lugares en EE.UU., con capacidades de tratamiento de hasta 100,000 galones por día (Bounds, 1998). La Agencia de Protección Ambiental Federal (EPA) reconoce la eficiencia de los sistemas RSF, y a tales efectos ha publicado varias guías que describen su efectividad como método alternativo para la recolección y el tratamiento de volúmenes bajos de aguas usadas (EPA/625/1-91/024, 1991). Igualmente, la EPA endosa el sistema de RSF como una tecnología efectiva para el tratamiento de las aguas usadas generadas en comunidades pequeñas (EPA/625/R-92/005, 1992). Sin embargo, no se han construido sistemas RSF en regiones tropicales con temperaturas relativamente altas todo el tiempo, lo que puede mejorar la eficiencia del tratamiento debido a la actividad biológica más intensa.

Un sistema típico de RSF incluye los siguientes componentes:

1. Un tanque receptor (pozo séptico) de dos cámaras para acumular las aguas usadas generadas en la instalación o instalaciones en operación y remover la mayor parte de los sólidos. En la primera cámara del pozo séptico se reciben las descargas sanitarias crudas, y se separan por gravedad los sólidos de los líquidos y del material flotante (grasas y aceites), dando tratamiento primario a las aguas usadas que se reciben. El efluente de la primera cámara descarga mediante tabiques elevados a la segunda cámara (cámara de recirculación), desde donde fluye por gravedad o es bombeado al filtro de arena (RSF). En la salida de la segunda cámara se instala un biofiltro desechable que puede remover hasta 99.9% de los sólidos en el efluente del pozo séptico. Los sólidos y los materiales flotantes (grasas y aceites) se retienen en la primera cámara para remoción periódica por medio de bombeo. En ambas cámaras se instalan tubos de ventilación equipados con un filtro de carbón activado para el control de olores desagradables.
2. El RSF consiste de una capa de arena de hasta 48 pulgadas de espesor que descansa sobre grava y piedra. El área del RSF depende de la capacidad de diseño que se requiera en el sistema. El efluente del tanque de recirculación se infiltra lentamente a través de la arena, la cual actúa como un biofiltro. La alta porosidad de la arena permite que se acumulen bacterias en su superficie que oxidan los materiales orgánicos y proveen tratamiento secundario avanzado al efluente primario del pozo séptico. Diversos estudios de RSF en Oregon y California (referencia) han demostrado remociones de más del 90% de la demanda bioquímica de oxígeno (BOD5) y sólidos suspendidos (TSS), con remociones proporcionales en los nutrientes (fósforo y nitrógeno).
3. El 75% del efluente que se filtra por el RSF se retorna al tanque de recirculación. Esto es equivalente a filtrar tres veces el efluente a través del RSF, mejorando en cada filtración la eficiencia del tratamiento que recibe el efluente. El 25% del efluente se descarga desde el tanque de recirculación al campo de infiltración mediante un sistema de válvulas automáticas que operan con la presión de la bomba que recoge el efluente tratado del fondo del RSF.

- El campo de infiltración consiste de tubos soterrados a seis pulgadas debajo de la superficie, y equipados con una serie de orificios que permiten la salida del efluente proveniente del tanque de recirculación. La longitud de los tubos en el campo de infiltración, así como el número de orificios, se diseña para optimizar la infiltración del efluente tratado tomando en cuenta la capacidad de infiltración del terreno y la profundidad del nivel freático.

La Figura 1 contiene una representación esquemática de los elementos del sistema de RSF.

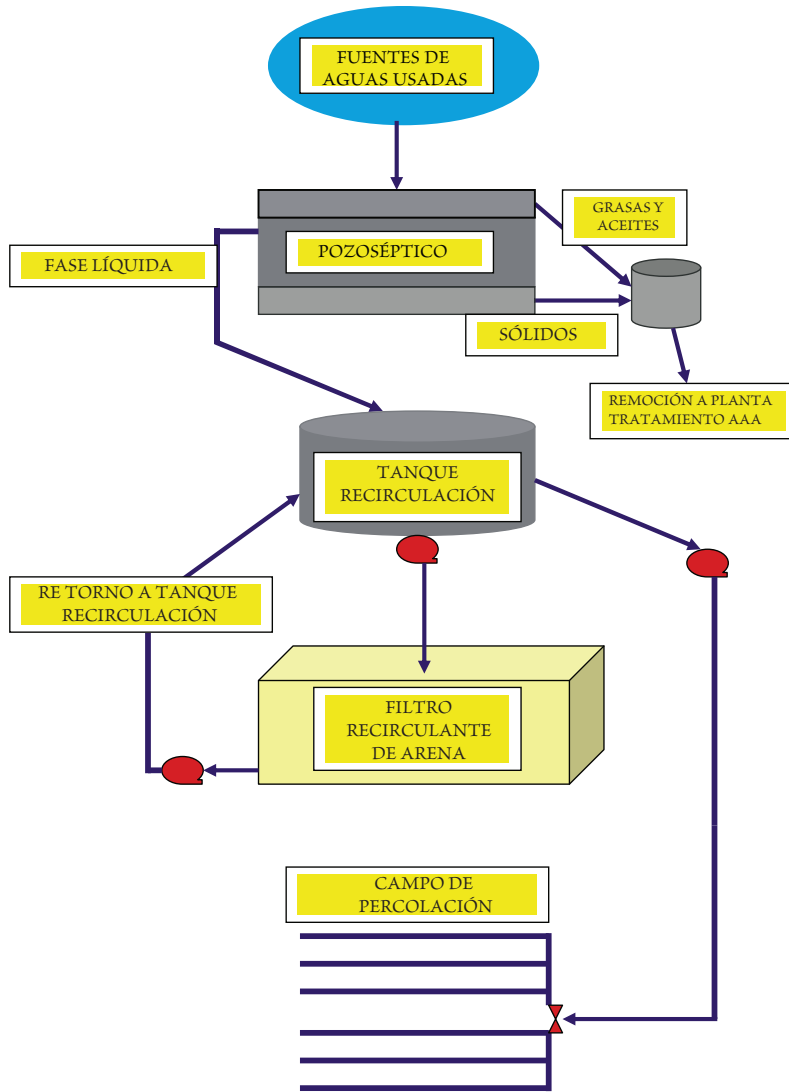


Figura 1. Esquema conceptual de un sistema de recirculación con filtro de arena

Un sistema de tratamiento sanitario mediante el uso de un RSF fue instalado en el 1999 en el campo de golf de Bahía Beach en Río Grande. El sistema incluyó los siguientes componentes, según se ilustra en la Figura 2.

- Conexiones sanitarias a los baños ubicados detrás del *club house* y a la trampa de grasa de la cocina del restaurante, descargando a una fosa equipada con dos bombas sumergibles (*sump pumps*). Desde la fosa, las bombas descargan el efluente por medio de una línea sanitaria de cuatro pulgadas y 600 pies de largo hasta un pozo séptico.
- Un pozo séptico sellado de dos cámaras con una capacidad de 10,000 galones diseñado para proveer tratamiento primario a las aguas usadas generadas en Bahía. El tanque fue construido sobre tierra para descargar el efluente por gravedad hacia el filtro de recirculación (RSF). La primera cámara remueve los sólidos precipitables, mientras que la segunda cámara se utiliza para la recirculación del efluente (cámara de recirculación).

3. Un filtro recirculante de arena (RSF) soterrado, ubicado al lado del pozo séptico, con un área superficial de 1,000 pies cuadrados (25' ancho x 50' largo) y una profundidad de cuatro pies, diseñado para proveer tratamiento secundario avanzado al efluente de la cámara de recirculación del pozo séptico. El diseño del filtro incluye los siguientes componentes:

- Instalación de una membrana impermeable de 30 mm de espesor en el fondo y alrededor de todo el filtro, sellada para prevenir el escape de las aguas tratadas hacia el subsuelo.
- Una armazón de plywood marino de  $\frac{3}{4}$  pulgadas de espesor alrededor de la excavación para proveer estabilidad estructural al filtro.
- Un sistema de irrigación con tubos de una pulgada de diámetro separados 24 pulgadas entre sí, y equipados con orificios de  $\frac{1}{8}$  de pulgada para permitir la salida del efluente, sentado sobre una capa de gravilla de  $\frac{1}{4}$ ".
- Una capa de arena de 24 pulgadas de espesor sobre una capa de grava y piedra de 12 pulgadas de espesor.

- Bajo la capa de grava y piedra, y sobre el plástico impermeable, se instaló un sistema de tubos perforados conectados a una fosa equipada con una bomba sumergible que bombea el efluente tratado de regreso a la cámara de recirculación en el pozo séptico.

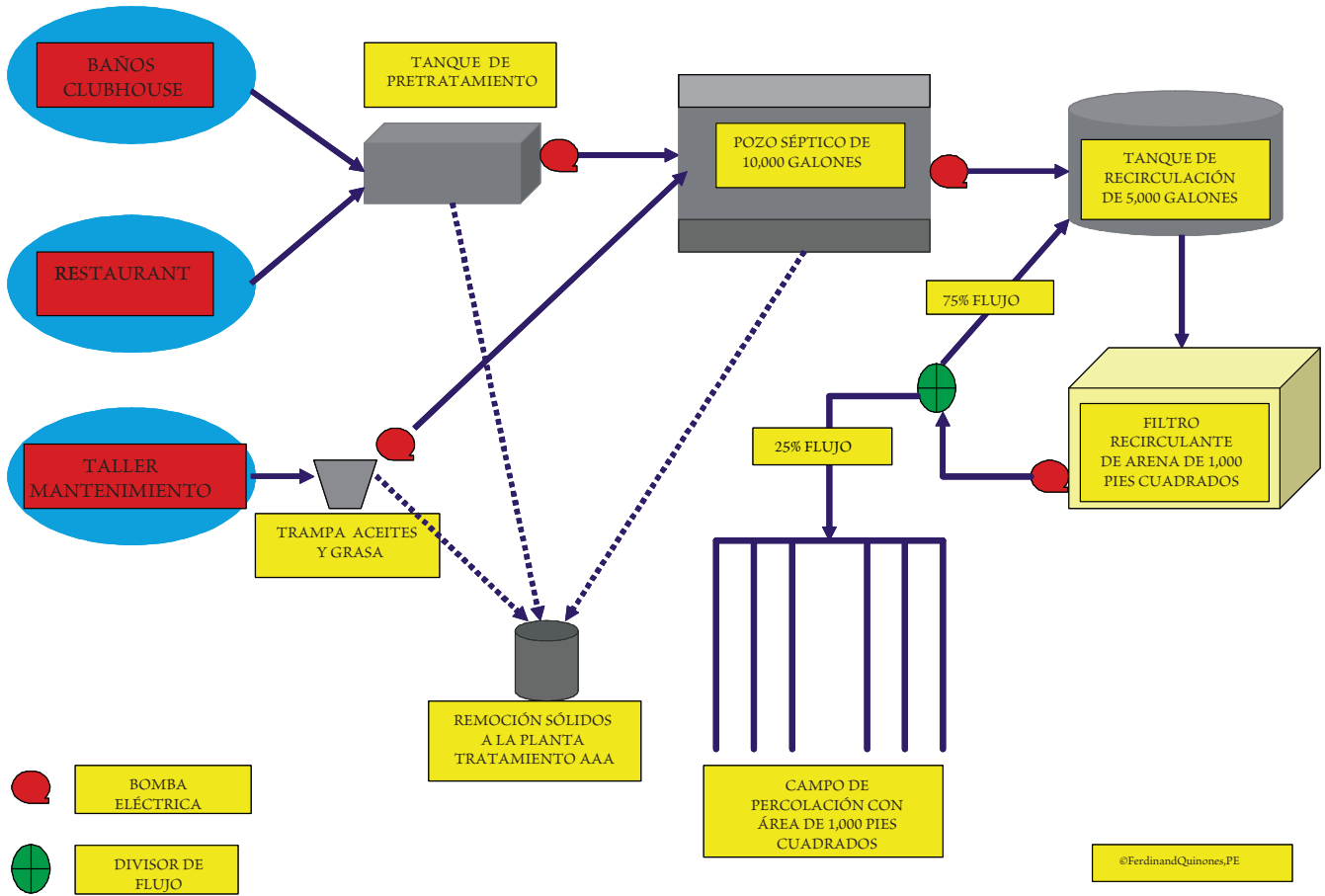


Figura 2. Sistema de recirculación con filtro de arena instalado en el Campo de Golf de Bahía Beach en Río Grande

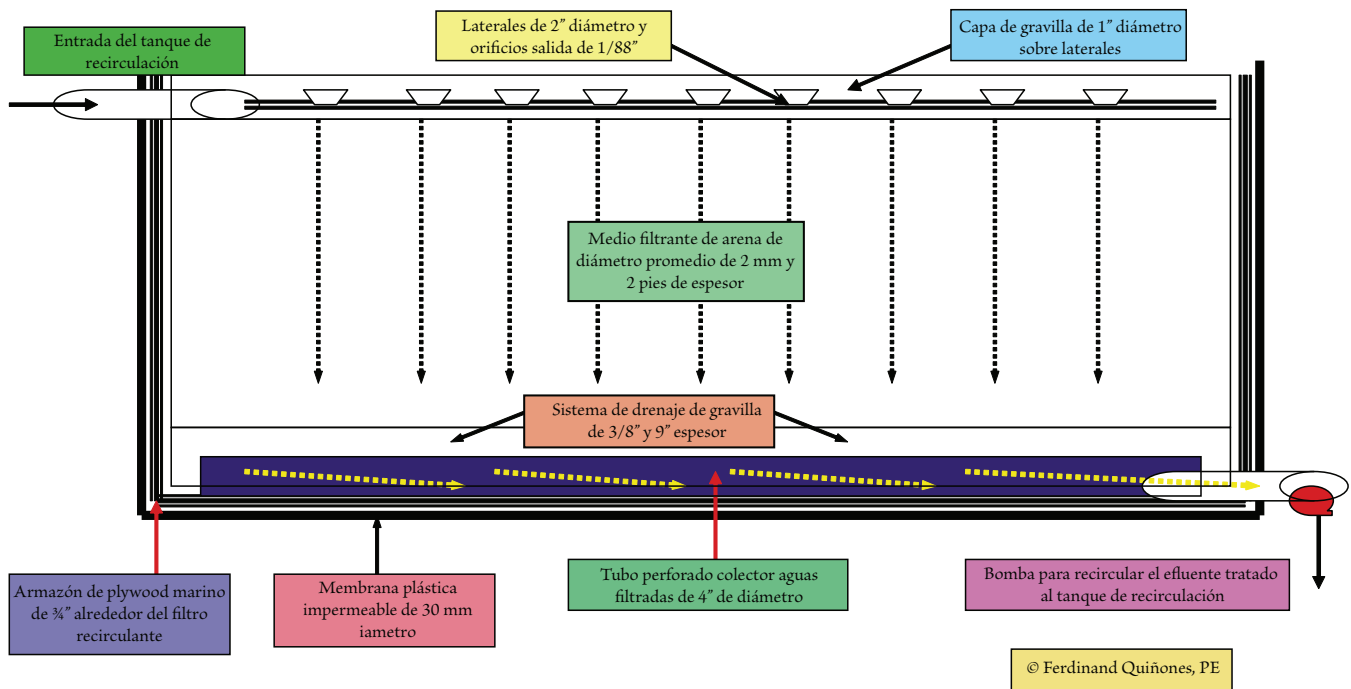


Figura 3. Detalles del filtro de recirculación por medio de arena

Tabla 1. Resumen de los resultados de la operación del sistema RSF en el Campo de Golf Bahía Beach en 2005

PUNTO DE MUESTREO		FECHA MUESTRA																							
		18 Enero 2005	24 Febrero 2005	22 Marzo 2005	21 Abril 2005	18 Mayo 2005	14 Junio 2005	9 Julio 2005	16 Agosto 2005	15 Septiembre 2005	11 Octubre 2005	10 Noviembre 2005	8 Diciembre 2005												
Demanda bioquímica oxígeno (DBO-5), mg/L	Afluente	320	310	290	310	300	310	300	290	280	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290
Sólidos suspendidos totales (SST), mg/L	Afluente	290	<5		210	<5	210	<5	<5	190	130	<5	140	<5	140	<5	140	<5	140	<5	140	<5	140	<5	<5
Sólidos disueltos totales (SDT), mg/L	Afluente	360	320		340	305	340	305	305	320	325	290	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325
Grasas y aceites (mg/L)	Afluente	90	4.0		110	5.0	110	5.0	5.0	95	2.4	4.0	2.4	1.6	2.4	1.6	2.4	1.6	2.4	1.6	2.4	1.6	2.4	1.6	2.4
Oxígeno disuelto (OD), mg/L	Afluente	1.5	0.0	1.8	2.1	0.0	2.5	1.9	2.2	2.4	0.0	1.8	0.0	2.2	0.0	3.5	0.0	3.2	0.0	3.3	0.0	3.3	0.0	3.3	0.0
Coliformes fecales, colonias/100 ml	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC
Coliformes totales, colonias/100 ml	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC
pH (unidades)	Afluente	7.2	7.0	7.1	7.2	6.9	7.2	6.9	7.0	7.1	6.9	7.2	6.9	7.1	7.0	6.9	7.1	7.0	6.9	6.9	7.1	6.9	6.9	7.1	7.0

Recopilado por Javier Ortiz y Ferdinand Quinones  
 Análisis por Field Labs y EQLab  
 Notas: TNTC- Muy numerosos para contar después de dilución en 10 millones

4. Un sistema de válvulas solenoides que retorna el 75% del efluente de la cámara de recirculación y descarga el 25% a un campo de infiltración. En este punto se instaló un medidor continuo de flujo para determinar la magnitud del caudal descargado hacia el campo de infiltración.
5. Un campo de infiltración para descargar el efluente tratado descargado desde el tanque de recirculación. El campo de infiltración consiste de una serie de tubos con orificios que ocupan un área de aproximadamente 1,500 pies cuadrados, en dos secciones rectangulares individuales. La tasa de descarga de efluente se controla mediante las válvulas solenoides para prevenir la sobresaturación del terreno. Esto se observa mediante un pozo que mide el nivel freático en el predio, lo que se compara con los datos de otro pozo de referencia en la vecindad pero fuera de la zona de infiltración.

La operación del sistema RSF en el campo de Bahía Beach fue autorizada por la Junta de Calidad Ambiental mediante un Permiso General sin Descarga (CAG), como parte de un proyecto piloto para determinar la efectividad del sistema. Como parte de la operación del RSF se requieren análisis químicos y bacteriológicos de una serie de parámetros representativos de aguas usadas, además de la preparación de informes trimestrales con los resultados de los análisis. El permiso CAG es renovado cada dos años, a tenor con las normas de la JCA.

### Resultados y conclusiones:

El RSF de Bahía Beach fue construido a un costo de aproximadamente \$65,000 y ha operado exitosamente desde su construcción en 1999, proveyendo el equivalente de un tratamiento secundario avanzado al efluente de las instalaciones en el campo de golf. La operación del sistema es simple debido a que sus componentes no requieren mantenimiento frecuente. El sistema de bombas ha requerido reparaciones en dos ocasiones, pero los otros componentes operan por gravedad sin requerir mantenimiento. El RSF ha retenido su capacidad de tratamiento biológico, según han determinado los análisis de muestras a su entrada y salida. La materia orgánica residual que no se precipita en las cámaras del pozo séptico se oxida eficazmente en el RSF, debido a acción bacteriana. La remoción de BOD, sólidos suspendidos y grasas-aceites es equivalente a tratamiento secundario avanzado, con eficiencias que exceden el 95%, según lo demuestran los resultados de los análisis de muestras en la entrada y salida del sistema (Tabla 1). Visualmente, el efluente es completamente transparente, sin evidencia de la presencia de sólidos suspendidos. La concentración de bacterias conformes en el efluente es alta debido a que no se clorina el mismo de acuerdo al permiso de la JCA. Sin

embargo, su descarga soterrada en el campo de infiltración elimina riesgos a la salud. El campo de infiltración ha operado efectivamente, ya que las tasas de infiltración del suelo arenoso del lugar exceden una pulgada por minuto.

Sistemas similares de mayor tamaño para el tratamiento de aguas sanitarias domésticas pueden construirse en otros lugares en Puerto Rico donde no existen laterales que conecten a las plantas de la AAA. Es necesario llevar a cabo estudios pilotos adicionales en comunidades aisladas que provean información adicional para el diseño de otros sistemas de mayor tamaño.

### Referencias

- USEPA, 2005, Management Handbook for Septic/Decentralized Systems: EPA 832-B-05-01, 66 p.
- USEPA, 1991, Alternative Wastewater Collection Systems: EPA/625/1-91/024: USEPA Office of Research and Development, Washington, DC, p. 207.
- USEPA, 1992, Wastewater Treatment/Disposal for Small Communities: EPA/625/R-92/005: USEPA Office of Research and Development, Washington, DC, p. 110.
- Ball, E.S., 1996, Design, Use and Installation of Dosing Siphons for On-Site Wastewater Treatment Systems: Orenco Systems, Inc., Sutherlin, Oregon, p. 13.
- Bounds, T.R., 1998, Design Criteria for Recirculating Sand Filters: Orenco Systems, Inc., Sutherlin, Oregon, p. 13.
- Bounds, T.R., 1998, Septic Tank Sizes for Large Flows: Orenco Systems, Inc., Sutherlin, Oregon, p. 8.
- Bounds, T.R., 1998, Septic Tank Septage Pumping Intervals: Orenco Systems, Inc., Sutherlin, Oregon, p. 12.
- Cagle, W.A., 1994, On-site Intermittent Sand Filter Systems: American Society of Agricultural Engineers, Atlanta, Georgia.
- Ball, H.L., 1998, Sand Filters and Shallow Drainfields: Orenco Systems, Inc., Sutherlin, Oregon, p. 10.
- Cagle, W., 1993, Sand Filter Monitoring: Placer County Division of Environmental Health, Auburn, California.
- Mohammed, M.N., 1991, Performance of Intermittent Sand Filters: Effects of Hydraulic Loading Rate, Dosing Frequency, Media Effective Size, and Uniformity Coefficient: Univ. of California at Davis.