



Sustainable Water Improves Tomorrow's Cities' Health - SWITCH Project

Proposal of Solution for the Decontamination and Recuperation of Water Resources in the Municipality of Cali

APPENDICES



Sustainable Water Improves Tomorrow's Cities' Health - SWITCH Project

Proposal of Solution for the Decontamination and Recuperation of Water Resources in the Municipality of Cali

Appendix 1

Identification of criteria and indicator weights for selection of pollution prevention and minimization alternatives

1.1 ASIGNACIÓN DE PESOS

Se aplicó la metodología de Analytic Hierarchy Process (AHP) propuesta por Saaty (Romero, 1997; Zeng *et al.*, 2007). Para conocer la relevancia de los indicadores presentados al contexto de local, se realizaron encuestas a funcionarios de las instituciones relacionadas con el manejo y uso del agua en la ciudad de Cali.

En el tema de minimización y prevención se entrevistaron 19 funcionarios; 4 de Emcali, 4 de DAPM, 3 de CVC, 3 del DAGMA, 1 de Acodal y 4 de Camacol Valle.

En selección de tratamiento de aguas residuales con métodos naturales con objetivo de reuso se entrevistaron 15 expertos: 3 de CVC, 4 docentes e investigadores de la Universidad del Valle 3 de EMCALI, 2 Consultores externos, 2 docentes de la Universidad Nacional de México y 1 docente de la Universidad Pontificia Javeriana seccional Bogotá.

Se encuestó sobre las prioridades y preferencias al comparar por parejas, con base en la Tabla A1.1, la importancia de un criterio con respecto a otro para generar una matriz como la presentada en la Tabla A1.2. Para disminuir la posibilidad de distribución de las respuestas se utilizaron solo los criterios definidos con los números 1, 3, 5 y 9.

Tabla A1.1 Definición y explicación de los niveles de importancia comparative

IMPORTANCIA	DEFINICIÓN	EXPLICACIÓN
1	Igualmente importante	Dos factores de decisión que influyen igualmente el factor patrón
3	Moderadamente mas importante	Un factor de decision moderadamente mas influyente que el otro
5	Fuertemente más importante	Un factor de decisión tiene influencia fuerte sobre el otro
7	Muy fuertemente mas importante	Uno de los factores de decisión tiene una influencia mucho más significativa sobre el otro
9	Extremadamente importante	La diferencia entre las influencias de los dos factores de decisión son extremadamente significativas
2,4,6,8	Valores intermedios	Valores de sentencia entre iguales, moderada, fuerte, muy fuerte, muy fuerte y extremadamente

Fuente: Saaty, 1997 citado por (Zeng *et al.*, 2007)

Tabla A1.2 Matriz de comparación de criterios consultada a actores institucionales

	AMBIENTAL	ECONÓMICO	TÉCNICO	SOCIAL
Ambiental	1	a	b	d
Económico	1/a	1	c	e
Técnico	1/b	1/c	1	f
Social	1/d	c/e	1/f	1

Para generar la matriz que condensara las comparaciones realizadas por las instituciones se realizó un análisis de frecuencia de las respuestas asignadas a cada par de criterios.

1.2 PONDERACIÓN DE CRITERIOS PARA SELECCIÓN EN MINIMIZACIÓN Y PREVENCIÓN

Del proceso de encuestas se compilaron los datos, y se generaron gráficas de frecuencia de las respuestas del centro decisor. Los resultados encontrados mostraron que, al comparar el criterio ambiental con respecto al criterio económico presentado en la

Figura A1.1 (a), el mayor porcentaje de respuestas equivalente al 31,6 % considerando que el criterio ambiental es moderadamente más importante que el criterio económico, con una frecuencia del 21,1%, fuertemente más importante, coincidiendo con los que opinaron que es igual en 21,1%. El 15,8% consideraron que es extremadamente más importante, mientras que un 10,5% decidió que el criterio económico es más importante que el ambiental.

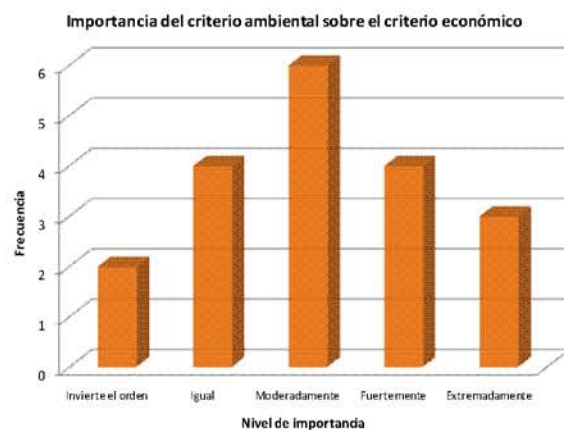
En la relación del criterio ambiental con respecto al criterio social presentado en la Figura A1.1 (b), el mayor porcentaje de respuestas fue de 42,1 %, considerando que el criterio ambiental es igual de importante que el criterio social, el 26,3% que es fuertemente más importante. El 15,8% opinan que es moderadamente y el 5,3% extremadamente más importante, mientras que un 10,5% decidió que el criterio social es más importante que el ambiental.

Enfrentando el criterio ambiental con respecto al criterio técnico presentado en la Figura A1.1 (c), el mayor porcentaje de respuestas equivalente al 47,4% consideró que el criterio ambiental es igual de importante que el criterio técnico, el 21,1 % con la misma frecuencia consideró que es moderadamente y fuertemente más importante. Con la misma frecuencia equivalente al 5,3 % opinan que es extremadamente más importante, y que el criterio técnico es más importante que el ambiental.

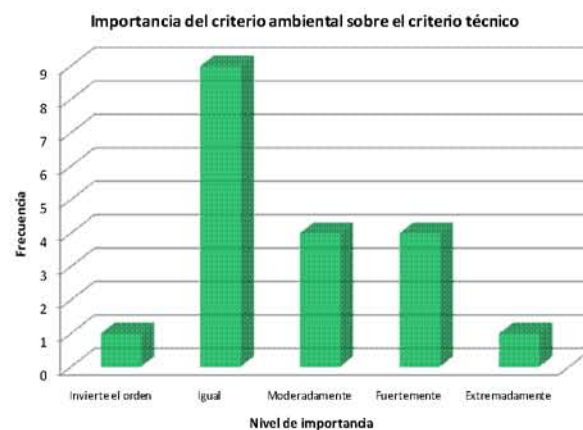
Al asociar los aspectos económicos con respecto a los sociales mostrados en la Figura A1.1 (d), un 47,4% considera que tienen igual importancia, coincidiendo en un valor de frecuencia de 15,8%, opinaron que es moderada, fuerte y extremadamente importante. De los entrevistados un 5,3% consideró que el criterio social es más importante que el criterio económico. Relacionando el criterio económico con respecto al técnico mostrado en la Figura A1.1 (e), un 36,8% consideró que tienen igual de importancia, el 26.3% que es fuertemente más importante, 15,8% que es extremadamente más importante y 10.5% lo calificó como moderadamente más importante. Un 10,6 % razonó que el criterio técnico es más importante que el económico.

En función de la comparación presentada en la Figura A1.1 (f) del criterio técnico sobre el social el 47,4 % le dio igual importancia a estos criterios, el 21,1% lo considera moderadamente y fuertemente más importante, ninguno lo consideró extremadamente más importante mientras que el 10,6% considera que el criterio social es más importante que el criterio técnico.

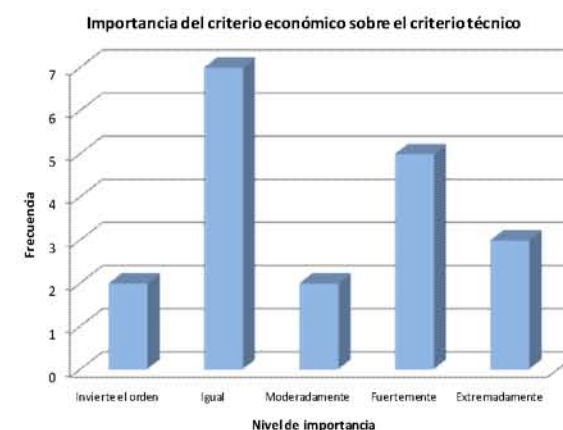
En términos generales se encuentra que al comparar por pares los criterios, la tendencia presentada por la mayoría de actores consultados es considerar que estos tienen igual importancia, a excepción de la comparación del criterio ambiental en relación con el criterio económico que presentó unos resultados más distribuidos; sin embargo la mayoría consideró que los aspectos ambientales son fuertemente más importantes que los económicos. Con base en el análisis de frecuencia se generó la matriz de comparación de criterios asignado en cada campo el juicio de valor con mayor frecuencia encontrado en el análisis de las respuestas de los encuestados generando la matriz presentada en la Tabla A1.3.



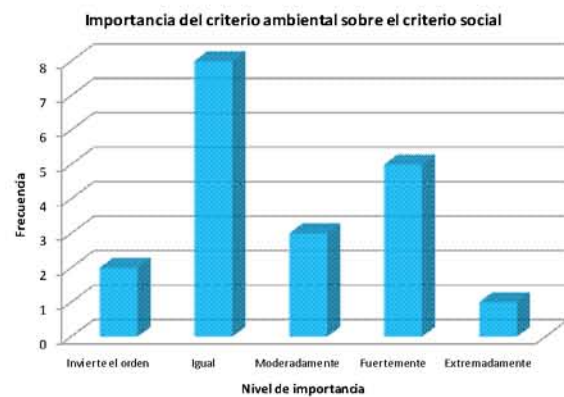
a)



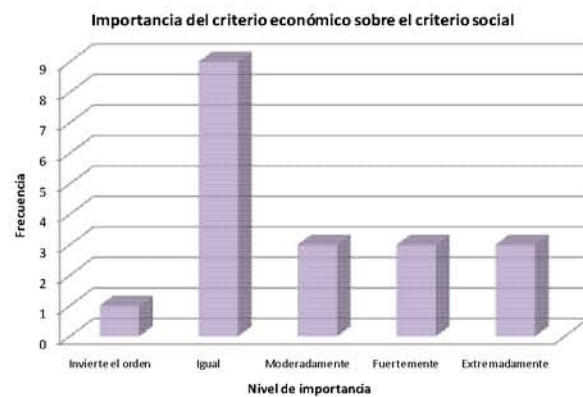
c)



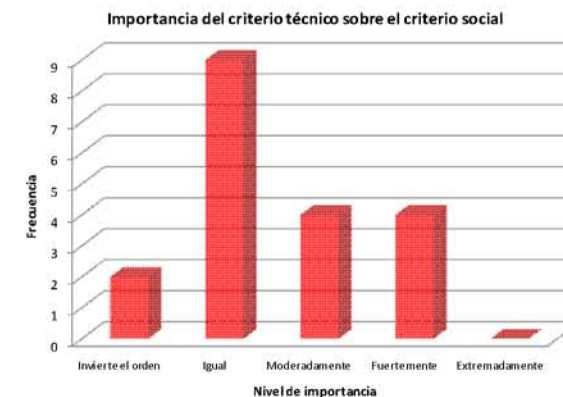
e)



b)



d)



f)

Figura A1.1 Comparación por pares de criterios para la selección en Minimización y Prevención

Se prosigue a obtener el sistema de pesos con las preferencias subjetivas mostradas por el centro decisor y recogidas en la matriz de comparación por parejas de la Tabla A1.3 a través del cálculo de medias geométricas (W) (Romero, 1997). Es conveniente trabajar con pesos que sumen la unidad, por tanto se dividió cada uno de los pesos hallados por la sumatoria de los mismos (Romero, 1997) en este caso W unitarios para generar el vector de pesos tal como se presenta en la Tabla A1.3.

Tabla A1.3 Matriz de comparación de criterios y cálculo de pesos en la ciudad de Cali

	AMBIENTAL	ECONÓMICO	TÉCNICO	SOCIAL	W	W UNITARIOS
Ambiental	1	3	1	1	1,3	0,323
Económico	1/3	1	1	1	0,8	0,186
Técnico	1	1	1	1	1,0	0,245
Social	1	1	1	1	1,0	0,245
					4,08	1,000

Del análisis anterior se encuentra que de los criterios estudiados el más importante es el ambiental con un peso de 0,323, seguido por el criterio técnico y social con un peso de 0,45 y en última instancia el criterio económico con un peso de 0,186.

1.3 PONDERACIÓN DE CRITERIOS PARA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL CON APLICACIÓN DE MÉTODOS NATURALES Y OBJETIVO DE REUSO AGRÍCOLA

Del proceso de encuestas se compilaron los datos, y se generaron gráficas de frecuencia de las respuestas del centro decisor. Se encontró que el 18,2% de los expertos considera que existe una fuerte importancia del criterio ambiental sobre el criterio técnico (Figura A1.2-a) El 36% del grupo consultado opina que existe una fuerte importancia del criterio técnico frente al económico (Figura A1.2-b). Los criterios técnico y sociocultural presentan igual importancia, determinada por el 45,4% de los expertos consultados (Figura A1.2-c).

Cuando se contrastaron los criterios ambiental y económico, el 63,6% de los expertos considera una fuerte importancia del criterio ambiental respecto al económico (Figura A1.2-d), la comparación realizada entre el criterio ambiental y el sociocultural, los expertos consideran de igual importancia en un 54,5% (Figura A1.2-e). Finalmente el paralelo que presentó los resultados más afines entre expertos, fue la comparación de los criterios económico y sociocultural, que consideraron en un 74,0% que el criterio sociocultural es inverso al económico a la hora de realizar el proceso de selección (Figura A1.2-f).

Con base en el análisis de frecuencia se generó la matriz de comparación de criterios, asignado en cada elemento ij de la matriz el juicio de valor con mayor frecuencia encontrado (Tabla A1.4). El sistema de pesos preferenciales se obtuvo normalizando los resultados de la matriz de comparación, esta normalización se obtuvo mediante la relación de cada elemento de la matriz y la sumatoria de cada columna correspondiente al elemento. Posteriormente estimando la media aritmética de la matriz normalizada, se obtuvo el peso unitario (W) (Romero, 1997)

Tabla A1.4 Matriz de comparación de criterios para la selección de tratamiento de agua con objetivo de reuso agrícola

CRITERIO	TÉCNICO	AMBIENTAL	ECONÓMICO	SOCIOCULTURAL
Técnico	1,0	0,2	5,0	1,0
Ambiental	5,0	1,0	5,0	1,0
Económico	0,2	0,2	1,0	0,2
Sociocultural	1,0	1,0	5,0	1,0

Tabla A1.5 Calculo de pesos de criterios para la selección de tratamiento de agua con objetivo de reuso

CRITERIO	TÉCNICO	AMBIENTAL	ECONÓMICO	SOCIOCULTURAL	W
Técnico	0,14	0,08	0,31	0,31	0,21
Ambiental	0,69	0,42	0,31	0,31	0,43
Económico	0,03	0,08	0,06	0,06	0,06
Sociocultural	0,14	0,42	0,31	0,31	0,30

Los resultados obtenidos de la consulta con expertos, arrojaron una importancia relativa del 43,4% del criterio ambiental, seguido del criterio sociocultural (29,5%), criterio técnico (21%) y finalmente el criterio económico (5,9%).

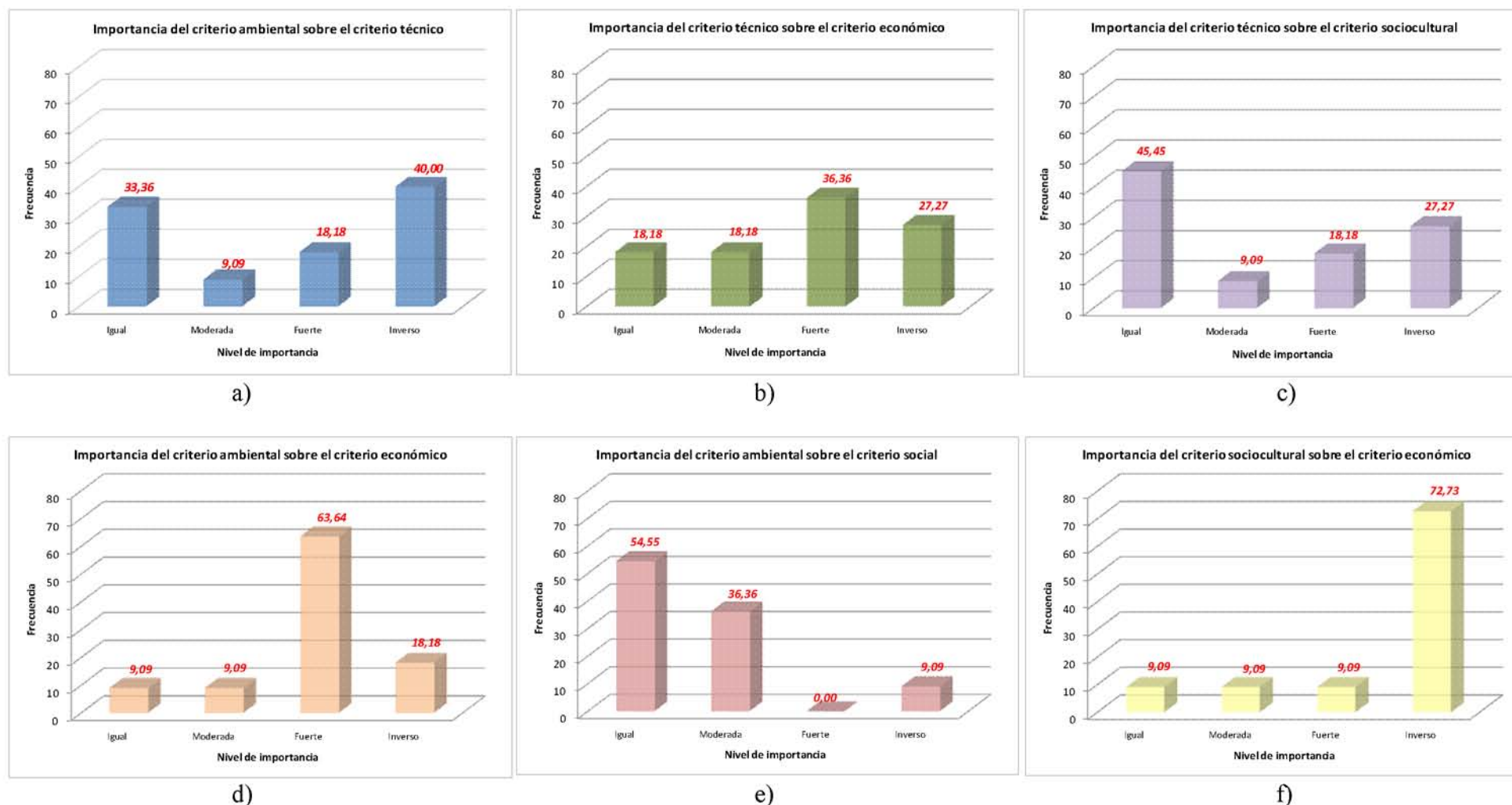


Figura A1.2 Comparación por pares de criterios para la selección de tecnología de tratamiento de agua residual con objetivo de reuso agrícola.

1.4 BIBLIOGRAFÍA

- Makropoulos, C. K., Natsis, K., Liu, S., Mittas, K., & Butler, D. (2008). "Decision support for sustainable option selection in integrated urban water management." *Environmental Modelling & Software*, 23(12), 1448-1460.
- Romero, C. (1997). *Análisis de las decisiones multicriterio*, Isdefe, Madrid, España.
- Zeng, G., Jiang, R., Huang, G., Xu, M., & Li, J. (2007). "Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis." *Journal of Environmental Management*, 82(2), 250-259.



Sustainable Water Improves Tomorrow's Cities' Health - SWITCH Project

Proposal of Solution for the Decontamination and Recuperation of Water Resources in the Municipality of Cali

Appendix 2

Social Acceptation of pollution prevention and minimization strategies

2.1 ACEPTACIÓN SOCIAL DE OPCIONES DE MINIMIZACIÓN Y PREVENCIÓN EN LA ZONA DE EXPANSIÓN

2.1.1 OBJETIVO

Identificar el nivel de conocimiento y aceptación de los posibles habitantes de la zona de expansión de Cali de las opciones de minimización y prevención en tres temáticas identificadas:

- Aparatos de bajo consumo para la evacuación de excretas
- Aguas grises
- Aguas lluvias

2.2 METODOLOGÍA

La aceptación social de los aparatos de bajo consumo y de las fuentes alternas de agua se realizó en dos fases i) Sondeo preliminar a través de encuestas con muestreo al azar para identificar una tendencia y variabilidad de la aceptación y ii) Encuestas a través de muestreo por cuotas no aleatorio casual por cuotas

Sondeo preliminar

El sondeo se realizó encuestando a personas que visitaron un centro comercial localizado contiguo al área de estudio. Se encuestaron 30 personas al azar el 11 de julio de 2010 en la jornada de la mañana.

Las preguntas realizadas estuvieron orientadas hacia la aceptación y/o preferencia de ciertos aparatos de bajo consumo y de distintas fuentes de agua en función de los usos tanto para áreas residenciales como para centros comerciales.

Encuestas a través de muestreo por cuotas

En el proceso de encuestas se realizó un muestreo no aleatorio casual por cuotas, donde se identificaron los proyectos de vivienda que se promueven en la comuna 17 y 22 (Sectores Parcelaciones Pance, El Caney y Valle del Lili) al sur de la ciudad, donde se está dando actualmente el mayor crecimiento y oferta de vivienda en Cali, contiguo a la zona de expansión, el cual presenta características similares a las del área de desarrollo (Figura A2.1).

Se identificaron 22 proyectos de vivienda en estos sectores, los cuales se listan en la

Tabla A2.1. En esta se presenta el nombre del proyecto, la ubicación, la tipología de la vivienda y el rango de área de unidad de vivienda que maneja la propuesta urbana.

Las encuestas fueron dirigidas a personas mayores de edad con la intención de comprar vivienda (casa o apartamento) en el sur de la ciudad. Se realizaron los días 4 y 5 de septiembre de 2010. Esta fecha corresponde a fin de semana donde hay mayor afluencia de personas a visitar los proyectos de vivienda. El número de encuestas levantadas fue de 167.

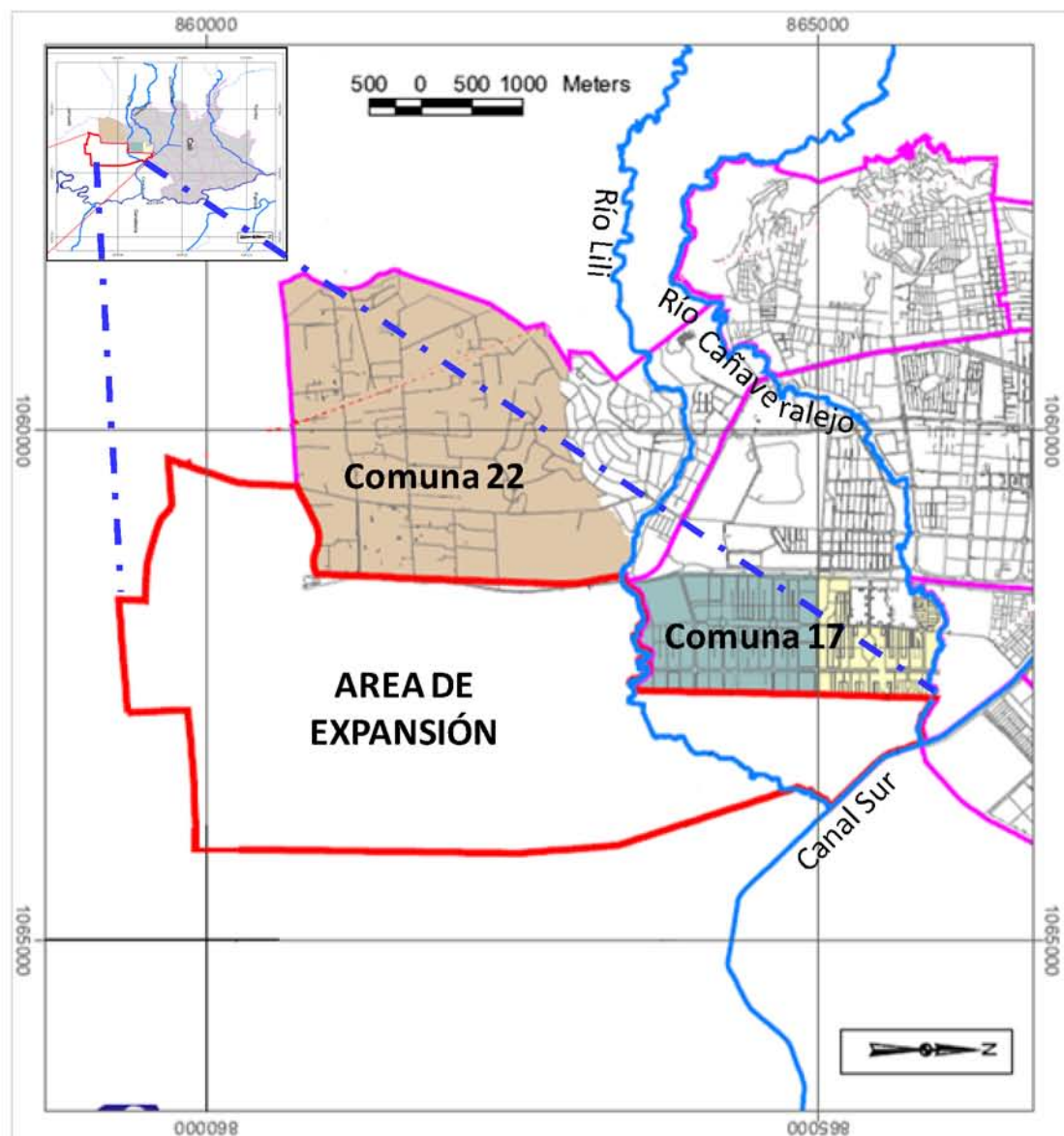


Figura A2.1 Localización sectores de realización de encuestas

Las preguntas realizadas estuvieron orientadas hacia la aceptación y/o preferencia de ciertos aparatos de bajo consumo y de distintas fuentes de agua en función de los usos tanto para área residenciales considerando tanto casas, como apartamentos y la implementación de ciertas estrategias en áreas comunes de unidades residenciales.

En la Caja A2.1, se presenta el formato de encuesta formulado para usos en vivienda unifamiliar. En la Caja A2.2 se presenta el formato de encuesta formulado para usos en apartamentos.

Tabla A2.1 Proyectos de vivienda en comunas 17 y 22 de la ciudad de Cali

NOMBRE DEL PROYECTO	DIRECCIÓN	TIPO DE VIVIENDA	RANGO DE AREA (m ²)	
			MÍNIMA	MÁXIMA
Rincón De Caney	Cra 83E No.42-71	Apartamentos	39	49
Lili Del Viento	Cra. 99 No. 45 - 120	Apartamentos	49	77,82
Barlovento	Cll. 48 entre Cra. 85C y 85	Apartamentos	52,78	
Campo Verde	Cra 99 No 45 - 120	Apartamentos	54,8	56,81
Fortemadeiro	Cra. 98 con Cll. 48	Apartamentos	55	
Portoalegre	Vía Panamericana contiguo a la Universidad Autónoma.	Apartamentos	57,5	
Fuerteventura	Detras de la 14 del Lili	Apartamentos	58,32	
Paraiso Del Caney	Cll. 48 entre Cra. 85 A Y 85 C.	Apartamentos	58,38	
Colores De Santa Sofia	Cra 86, Cll. 48, esquina	Apartamentos	64	
Miravento	Cra. 81 No. 47- 08	Apartamentos	65,37	
Torres De Valgarda 25	Av. Simón Bolívar entre Cras. 92 # 25 - 81 valle del lili	Apartamentos	77	94,26
Arboleda Del Lili	Av. Simón Bolívar con Cra. 92	Apartamentos	77,64	87,12
Atrium	Cra. 96 N° 45 - 140	Apartamentos	78	
Portal Del Lili	Simón Bolívar con Cra. 96 frente a Makro	Apartamentos	78	83
Gualanday Plaza	Cra 98B entre Cll 33 y 34 Valle del Lili	Apartamentos	80	89
Toscana Club Residencial	Autopista Simón Bolívar entre Cra. 86 y 85E	Apartamentos	82,58	
Brisas De San Lorenzo	Cra. 85 E No. 45-66 Apto. 205.	Apartamentos	85,69	
Casas Del Palmar	Sector del Lili - Detras de La 14 del Lili	Casa	86,42	
Venetto	Cra. 102 con autopista Simón Bolívar	Apartamentos	86,63	
Palmera Real Casas Independientes	Cra. 83B-2 Con Cll. 45	Casa	96,46	
Santorino Club House	Cll. 20 N° 118-285	Apartamentos	124	213
Plazuela De La Maria Cali	Av La María con calle 16	Apartamentos	145,54	
Cataya Real	Cll. 17A No. 121 - 122	Apartamentos	153	
Farallones De Pance	Cll. 6 No. 121A -105	Casa	166	171,41
Plazuela De La Maria Cali	Av La María con calle 16	Casa	196	

Caja A2.1

PROYECTO SWITCH
 “Sustainable Water Management in the City of the Future”
 MANEJO SOSTENIBLE DEL AGUA EN LA CIUDAD DEL FUTURO
**CONSULTA PARA SELECCIÓN PRELIMINAR DE ESTRATEGIAS DE MANEJO DEL AGUA EN
 EL SECTOR RESIDENCIAL PARA CASAS**

En que estrato está interesado en adquirir vivienda

1. Qué aparato sanitario preferiría encontrar en la vivienda a comprar

<u>Sanitario de 6 L</u>	<u>Sanitario de 2,3 L</u>	<u>Sanitario de doble descarga</u> 6 L para heces fecales, 4 para orina
		

2. Señale con un X si tiene conocimiento de la posibilidad del uso de las aguas provenientes de duchas y lavado de ropa, con o sin tratamiento, en actividades del hogar como:

Descarga de sanitarios	
Riego de jardines	
Aseo del hogar	
Lavado de automóviles	

3. Aceptaría el uso de de las aguas provenientes de duchas y lavado de ropa, después de un tratamiento que le mejore la calidad, en

Uso	SI	NO	Si la respuesta fue NO ¿Por qué?
Descarga de sanitarios			
Riego de jardines y zonas verdes			
Aseo del hogar			

4. Señale con un X si tiene conocimiento de la posibilidad del aprovechamiento de las aguas lluvias con o sin tratamiento en usos como

Lavado de ropa	
Riego de jardines	
Aseo del hogar	

5. Le gustaría contar con un sistema de apoyo con aguas lluvias después de un tratamiento como filtración para:

Uso	SI	NO	Si la respuesta fue NO ¿Por qué?
Lavado de ropa			
Riego de jardines y zonas verdes			
Aseo del hogar			

Caja A2.2

PROYECTO SWITCH
 “Sustainable Water Management in the City of the Future”
 MANEJO SOSTENIBLE DEL AGUA EN LA CIUDAD DEL FUTURO
**CONSULTA PARA SELECCIÓN PRELIMINAR DE ESTRATEGIAS DE MANEJO
 DEL AGUA EN
 EL SECTOR RESIDENCIAL PARA APARTAMENTOS EN MULTIFAMILIARES**



En que estrato está interesado en adquirir vivienda ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6

6. Qué aparato sanitario preferiría encontrar en la vivienda a comprar

Sanitario de 6 L	Sanitario de 2,3 L	Sanitario de doble descarga 6 L para heces fecales, 4 para orina
		

1. Señale con un X si tiene conocimiento de la posibilidad del uso de las aguas provenientes de duchas y lavado de ropa, con o sin tratamiento, en actividades del hogar como:

Descarga de sanitarios	
Riego de jardines	
Aseo del hogar	
Lavado de automóviles	

2. Aceptaría el uso de las aguas provenientes de duchas y lavado de ropa, después de un tratamiento que le mejore la calidad, en:

Uso	SI	NO	Si la respuesta fue NO ¿Por qué?
Descarga de sanitarios			
Riego de jardines y zonas verdes			
Aseo del hogar			
Aseo de zonas comunes			

3. Señale con un X si tiene conocimiento de la posibilidad del aprovechamiento de las aguas lluvias con o sin tratamiento en usos como

Lavado de ropa	
Riego de jardines	
Aseo del hogar	
Aseo de zonas comunes	

4. Le gustaría contar con un sistema de apoyo con aguas lluvias después de un tratamiento como filtración para:

Uso	SI	NO	Si la respuesta fue NO ¿Por qué?
Riego de jardines y zonas verdes			
Aseo de zonas comunes			

Para la estimación de proporciones, la varianza y los intervalos se asume que la distribución de las proporciones es normal, asociado al número de observaciones realizadas.

Se estiman las proporciones como sigue:

$$p = \frac{A}{n}$$

Dónde:

A: es el número de observaciones con la característica,
n: número de encuestas.

La varianza se calcula con la siguiente expresión:

$$v(p) = \frac{p \cdot (1 - p)}{n - 1}$$

Y los intervalos se definen con las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} \lim inf &= p - 1.96\sqrt{v(p)} \\ \lim sup &= p + 1.96\sqrt{v(p)} \end{aligned}$$

2.2.1 RESULTADOS

Sondeo preliminar

El primer sondeo que se realizó para conocer a nivel preliminar la aceptación de las opciones de minimización y prevención generando un panorama de la tendencia que esta variable a nivel social.

En relación a los aparatos para la evacuación de excretas se encuentra que hay preferencia por los equipos de mayor eficiencia como se presenta en la Figura A2.2. La Figura A2.3 presenta los niveles de aceptación para los diferentes usos de aguas grises y aguas lluvias. Se encuentra una alta aceptación de las aguas lluvias, ya que esta se considera una fuente limpia y viable de aprovechar. Las aguas grises presentan una alta aceptación para la descarga de los baños, pero hay mayor resistencia para el riego de jardines y aseo de zonas comunes. La resistencia de esta fuente en cuanto al riego obedece al desconocimiento que hay en que esta fuente puede generar daño a las plantas y en cuanto al aseo de las zonas comunes está asociado con el riesgo sanitario que las personas que laboran en estas actividades se puedan exponer.

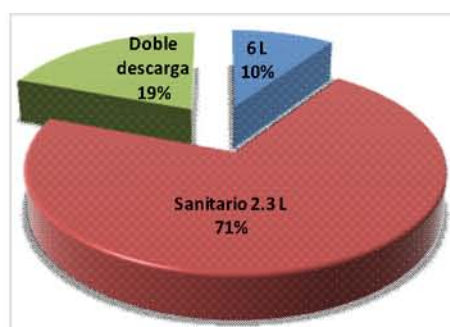


Figura A2.2 Nivel de preferencia de equipo sanitario para la evacuación de excretas en encuesta piloto

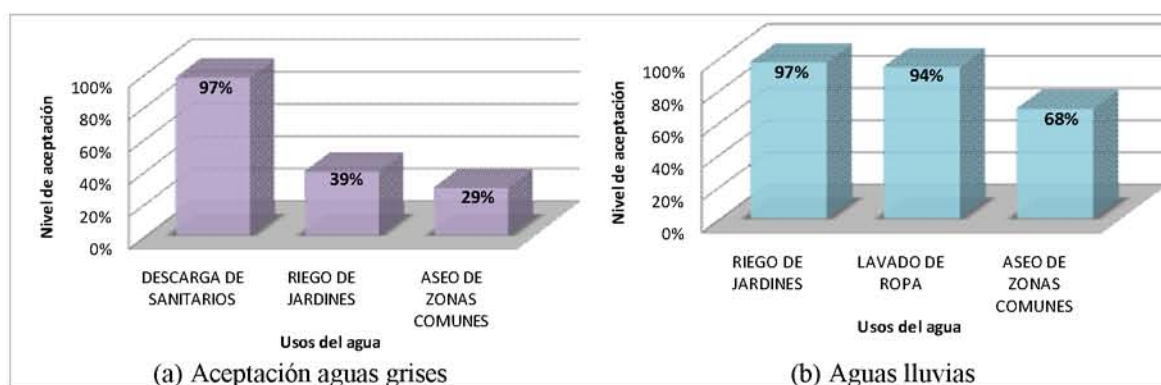


Figura A2.3 Nivel de aceptación de fuentes alternas de agua en encuesta piloto

Encuesta muestreo por cuotas

Los resultados que se presentan a continuación se extienden para niveles socioeconómicos comprendidos entre los estratos 4 y 5 ya que a estos son los sectores con mayor interés de adquisición de vivienda en el sur de Cali (86%) como se presenta en la Figura A2.4 y para los cuales están promovidos los proyectos principalmente.

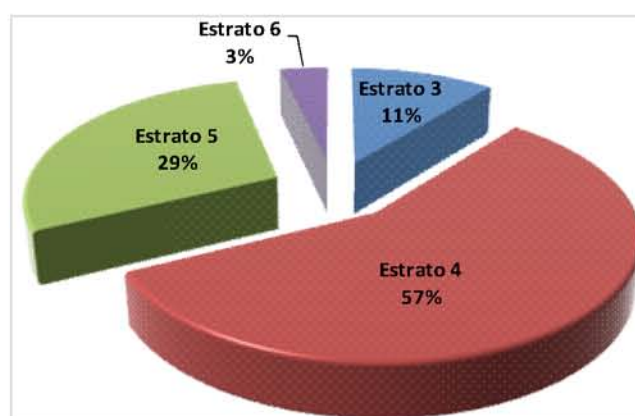


Figura A2.4 Estrato socio-económico de los ciudadanos con interés en adquisición de vivienda en el sur de Cali

Aparatos para la evacuación de excretas

Al poner en consideración de las personas la preferencia del equipo sanitario para la evacuación de excretas, entre tres sanitarios que utilizan por descarga 6 L, 2,3 L y doble descarga (4 para orina y 6 para heces fecales) respectivamente, se encontró preferencia por los equipos de más alta eficiencia en cuanto a consumo de agua tal como se presenta en la Tabla A2.2, siendo esta de un 94%.

Tabla A2.2 Preferencia de equipo para la evacuación de excreta

SANITARIO	PROPORCIÓN	VARIANZA	INTERVALO DE CONFIANZA	
			LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
6 L	5%	0,00031	2%	9%
2,3 L	41%	0,00146	34%	49%
Doble descarga	53%	0,0015	46%	61%

2.2.2 Aguas grises

Nivel de conocimiento

En cuanto al conocimiento del uso de aguas grises en el hogar, se encuentra que el tema no es novedoso entre las personas cuestionadas. La Tabla A2.3 presenta los intervalos de confianza y la varianza obtenida en cada uno de los usos. La Figura A2.5 presenta gráficamente el nivel de aceptación en cada uno de los usos.

Para todos los usos con un nivel de confianza del 95% el conocimiento es superior al 70%.

Tabla A2.3 Conocimiento de posibilidad de uso de aguas grises

USO DEL AGUA	PROPORCIÓN	VARIANZA	INTERVALO DE CONFIANZA	
			LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
Descarga de sanitarios	83,2%	0,00084	77,6%	88,9%
Riego de jardines	76,6%	0,00108	70,2%	83,1%
Aseo hogar	86,8%	0,00069	81,7%	92,0%
Lavado de automóvil	77,8%	0,00104	71,5%	84,2%

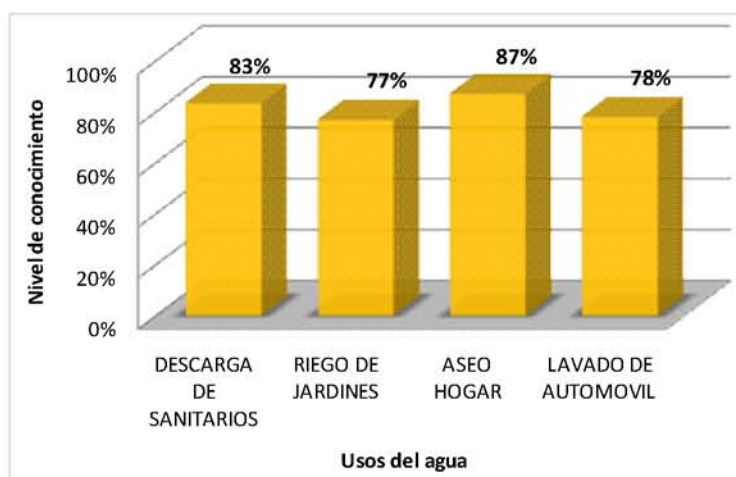


Figura A2.5 Nivel de conocimiento del uso de aguas grises en actividades domésticas

Aceptación acorde a los usos

Se presenta una alta aceptación de esta fuente para todos los usos que oscila entre el 94% y 100%. La aceptación de uso del agua gris con una confianza del 95% más del 94% para todos los usos considerados tal como se presenta en la Tabla A2.4 y la Figura A2.6.

Tabla A2.4 Aceptación del uso de aguas grises tratadas

USO DEL AGUA	PROPORCIÓN	VARIANZA	INTERVALO DE CONFIANZA	
			LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
Descarga de sanitarios	99%	0,00004	98,2%	100,0%
Riego de jardines	99%	0,00004	98,2%	100,0%
Aseo hogar	97%	0,00017	94,4%	99,6%
Aseo de zonas comunes	97%	0	97%	97%



Figura A2.6 Nivel de aceptación del uso de aguas grises en actividades domésticas

Aguas lluvias

Nivel de conocimiento

Al igual que las aguas grises se percibe un alto nivel de conocimiento del uso de esta fuente en la vivienda el cual se encuentra entre el 86% y 96%. La Tabla A2.5 y la Figura A2.7 presentan los niveles de aceptación para cada uso.

Tabla A2.5 Conocimiento de posibilidad de uso de aguas lluvias

USO DEL AGUA	PROPORCIÓN	VARIANZA	INTERVALO DE CONFIANZA	
			LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
Riego de jardines	96%	0,00021	94%	99%
Aseo hogar	86%	0,00072	81%	92%
Aseo de zonas comunes	87%	0,00121	80%	93%

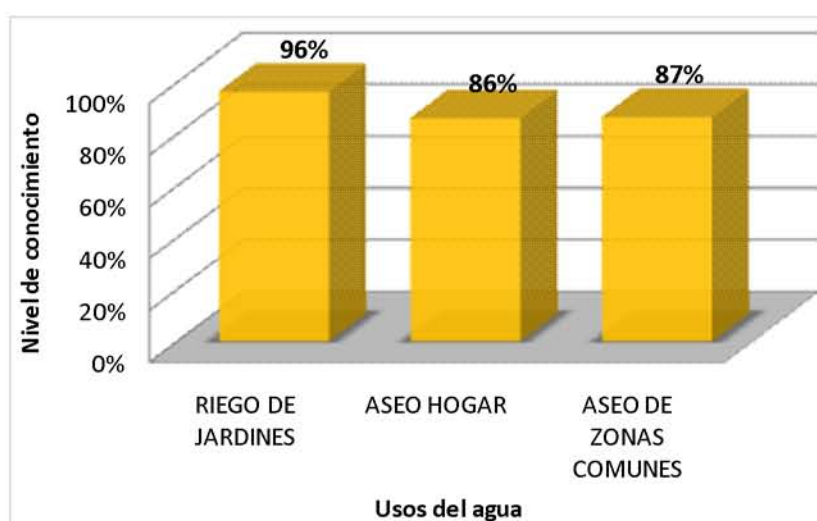


Figura A2.7 Nivel de conocimiento del uso de aguas lluvias en actividades domésticas

Aceptación acorde a los usos

Existe un alto nivel de aceptación de esta fuente en los diferentes usos como se presenta en la Tabla A2.6 y la Figura A2.8. El uso que presenta mayor restricción es el lavado de ropa asociado a un 89%. Las personas en su gran mayoría (por encima del 81%) aceptan el uso de sistemas de apoyo de aguas lluvia para las diferentes actividades mencionadas anteriormente.

Tabla A2.6 Aceptación del uso de aguas lluvias

USO DEL AGUA	PROPORCIÓN	VARIANZA	INTERVALO DE CONFIANZA	
			LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
Riego de jardines	99%	0,00004	98%	100%
Aseo hogar	96%	0,00059	91%	100%
Aseo de zonas comunes	100%	0,00000	100%	100%
Lavado de ropa	89%	0,00000	89%	89%

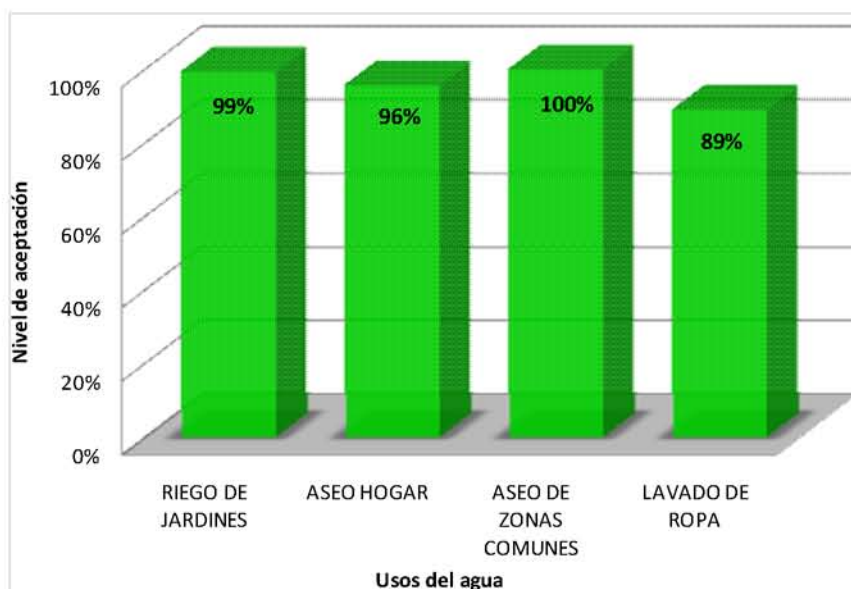


Figura A2.8 Nivel de aceptación del uso de aguas lluvias en actividades domésticas

2.3 ACEPTACIÓN SOCIAL DE OPCIONES DE MINIMIZACIÓN Y PREVENCIÓN EN LA ZONA URBANA DE CALI

2.3.1 Objetivo

Identificar el nivel de conocimiento, aceptación y la posibilidad de adquisición de las opciones tecnológicas de minimización y prevención por la población del área urbana de Cali.

2.3.2 Metodología de muestreo

Para el alcance del objetivo se realizaron encuestas a los habitantes mayores de edad con capacidad de decisión en cuanto a la incorporación en sus viviendas de aparatos de bajo consumo y fuentes alternas de agua de la zona urbana de la ciudad de Cali, que viven en los 39.885 lados de manzana.

El análisis de la posibilidad de aplicar este tipo de tecnologías no se ha realizado en la ciudad, por lo tanto no se cuenta con información de tipo social al respecto, es por esto, que se define un estudio piloto para evaluar la variabilidad del conocimiento, aceptación social y posibilidad de adquisición de este tipo de tecnologías.

El muestreo realizado fue aleatorio estratificado asociado con el número de suscriptores de cada nivel socioeconómico en la ciudad. Para la muestra piloto se aplicaron 200 encuestas estratificadas según los niveles socios económicos y proporcionales a los lados de manzanas (Figura A2.9), así:

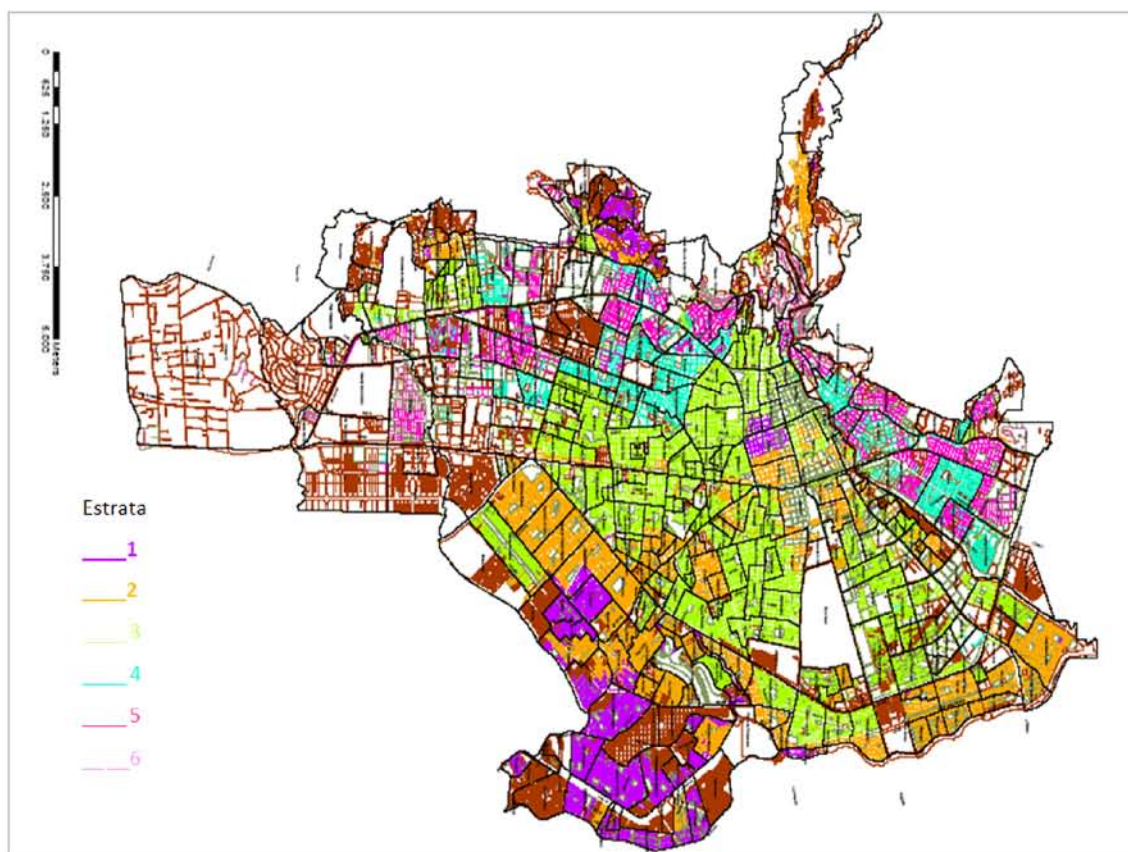


Figura A2.9 Lados de manzana por estratos en Cali

- Nivel bajo (lados de manzana con estratos 1 y 2): 205 encuestas
- Nivel medio (lados de manzana con estrato 3 y 4): 76 encuestas
- Nivel alto (lados de manzana con estratos 5 y 6): 19 encuestas.

Las preguntas realizadas se clasifican en tres temáticas identificadas:

- Aparatos para la evacuación de excretas
- Aguas grises
- Aguas lluvias

A su vez en estas temáticas se realizaron preguntas en función de:

- Nivel de conocimiento
- Aceptación de las fuentes de agua acorde a los usos

- Posibilidad de financiación

Se estiman las proporciones asociadas con un muestreo aleatorio estratificado con la siguiente expresión:

$$p_{st} = \sum W_h p_h \quad \text{donde } W_h = N_h/N$$

P_{st} es la estimación estratificada de la proporción

W_h es el peso del estrato (número de elementos de ese estrato en toda la población sobre el total de la población).

P_h es la proporción estimada en el estrato h .

N es la población total

N_h son los elementos del estrato h en la población total.

La varianza de la proporción está dada por:

$$V(p)_{st} = \sum W_h^2 \frac{p_h q_h}{n-1}$$

Una vez determinada las estimaciones de la proporción y de la variabilidad, se define un intervalo de confianza, es decir un nivel de confianza y un error permitido.

Asumiendo que la proporción se distribuye como una normal, se determina un nivel de confianza y se obtiene el valor del error, así:

$$e = z \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \sqrt{\frac{pq}{n-1}}$$

Donde:

e: valor de error asumido

z: valor asociado al nivel de confianza proveniente de la distribución normal.

2.3.3 Resultados

Aparatos para la evacuación de excretas

El nivel de conocimiento en relación a los aparatos de bajo consumo para cada nivel socioeconómico con su varianza se presenta en la Figura A2.10

El nivel de conocimiento identificado tiene un 6,7% de error. Con una confianza del 95% la proporción de residentes de la ciudad de Cali que conocen los aparatos de bajo consumo está en un rango entre el 54,7% y el 68,1%. Se identifica claramente que los encuestados pertenecientes al nivel socioeconómico alto conocen los aparatos de bajo consumo tales como sanitarios y dispositivos para ahorrar agua.

La Tabla A2.7 presenta el resumen de la proporción de residentes en la ciudad de Cali que conocen los aparatos de bajo consumo.

Tabla A2.7. Resumen estadística para el conocimiento de aparatos de bajo consumo

Proporción Nivel Bajo	Proporción Nivel Medio	Proporción Nivel Alto	Proporción Total	Varianza	Nivel de Confianza	Error	Intervalo de Confianza	
							Límite Inferior	Límite Superior
57 %	61 %	89 %	61 %	0,00116	95%	0,067	54,7 %	68,2 %

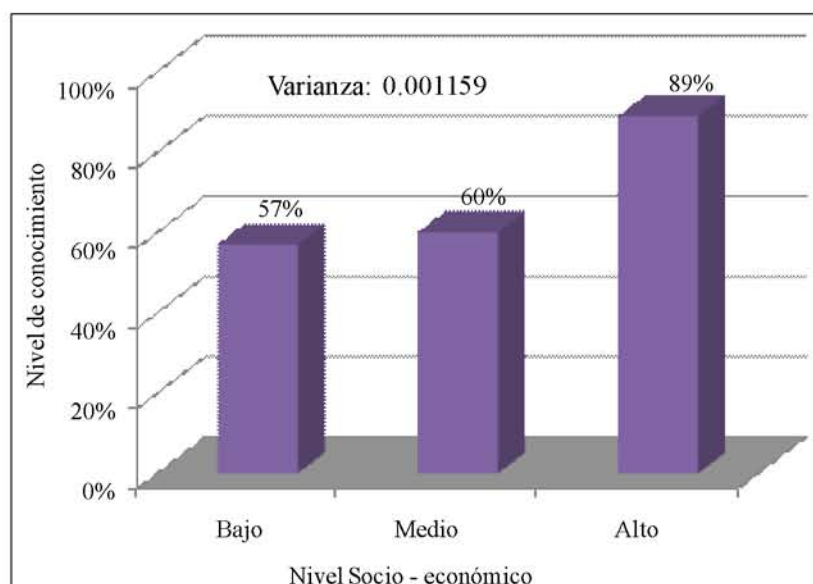


Figure A2.10 Nivel de conocimiento de los aparatos de bajo consumo en Cali

Aproximadamente el 27% de los encuestados respondió tener aparato de bajo consumo instalado en su vivienda, al 73% restante afirmó no tener esta tecnología. El 98% de los encuestados confirmó cambiaría su aparato sanitario por uno de bajo consumo, (ver Tabla A2.8)

Tabla A2.8. Aceptación por nivel socioeconómico del cambio de aparato sanitario

P Nivel Bajo	P Nivel Medio	P Nivel Alto	P Total	Varianza	Nivel de Confianza	Error	Intervalo de Confianza	
							Límite Inferior	Límite Superior
98,3%	100%	84,6%	97,7%	0,00018	95%	2,7%	95%	100%

La posibilidad de compra de los sanitarios de bajo consumo por parte de los encuestados se evaluó a través de 3 preguntas relacionadas con la forma de pago: financiación por medio de recursos propios (1), diferido en los servicios públicos (2) y a través de apoyo económico (3). Se identifica que la mayoría de los encuestados prefiere adquirir los sanitarios de bajo consumo con un apoyo económico (ver Tabla A2.9)

Tabla A2.9. Posibilidad de compra del aparato sanitario a través de tres formas de pago por estrato socioeconómico

Tipo de financiación	P Nivel Bajo	P Nivel Medio	P Nivel Alto	P Total	Varianza	Nivel de Confianza	Error	Intervalo de Confianza	
								Límite Inferior	Límite Superior
1	0,874	0,882	0,684	0,859	0,00061	95%	0,048	0,811	0,907
2	0,702	0,667	0,529	0,673	0,00113	95%	0,066	0,607	0,738
3	0,929	0,974	0,889	0,942	0,00029	95%	0,033	0,909	0,975

Aguas grises

El nivel de conocimiento de los encuestados con respecto a los diferentes usos del agua gris tratada se presenta en la Tabla A2.10. En la Figura A2.11 se puede identificar claramente que los usos más reconocidos son descarga de baños y aseo del hogar, especialmente para el nivel socioeconómico medio.

Tabla A2.10. Nivel de conocimiento sobre los posibles usos del agua gris tratada en el hogar

Uso del Agua	Proporción			P Total	Varianza	Nivel de Confianza	Error	Intervalo de confianza	
	Bajo	Medio	Alto					Límite inferior	Límite superior
Descarga de Sanitario	86%	92%	68%	87%	0,00057	95%	4,7%	82%	91%
Riego de Jardines	51%	71%	63%	60%	0,00118	95%	6,8%	53%	67%
Limpieza de vivienda	84%	93%	79%	87%	0,00056	95%	4,7%	82%	92%
Lavado de auto	59%	82%	63%	68%	0,00105	95%	6,5%	62%	74%

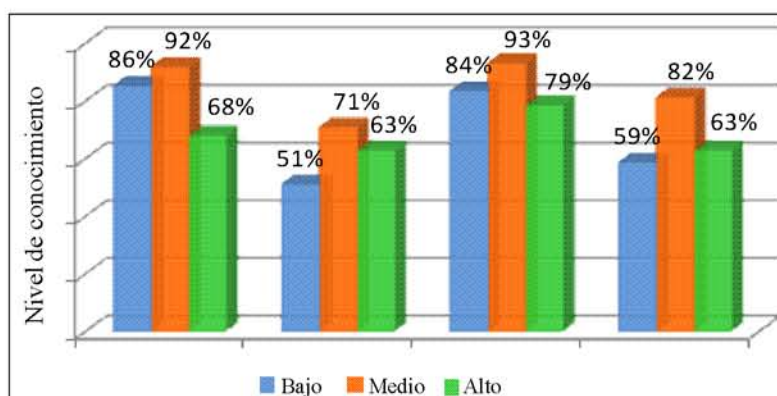


Figure A2.11 Nivel de conocimiento de los habitantes encuestados de la zona urbana de Cali sobre el uso de las aguas grises tratadas

El nivel de aceptación de las aguas grises tratadas en diferentes usos en el hogar es alto, con unos resultados similares para los usos propuestos y por niveles socioeconómicos (ver Figura A2.12).

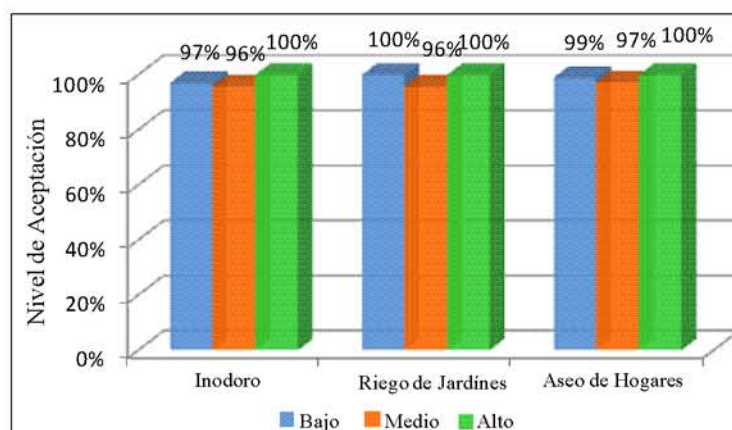


Figura A2.12. Nivel de aceptación de los habitantes encuestados de la zona urbana de Cali sobre los diferentes usos en el hogar del agua gris tratada

La financiación más aceptada para la aplicación de un sistema para reusar las aguas grises en el hogar es con apoyo del gobierno, tal como se observa en la Tabla A2.11. La forma de pago menos aceptada fue la financiación en la factura de pago de los servicios de acueducto y alcantarillado, especialmente por los encuestados de nivel socioeconómico alto.

Tabla A2.11. Posibilidad de implementación de un sistema de reuso de aguas grises a través de tres formas de pago por estrato socioeconómico

Tipo de Financiación	P Nivel Bajo	P Nivel Medio	P Nivel Alto	P Total	Varianza	Nivel de Confianza	Error	Intervalo de Confianza	
								Límite Inferior	Límite Superior
1	0,882	0,833	0,789	0,855	0,00063	95%	0,053	0,801	0,908
2	0,776	0,648	0,421	0,695	0,00104	95%	0,070	0,625	0,765
3	0,951	0,986	0,889	0,958	0,00021	95%	0,030	0,928	0,988

Aguas lluvias

El nivel de conocimiento de los posibles usos del agua lluvia en los hogares es medio comparado el conocimiento de los usos de las aguas grises. El uso menos conocido es en el lavado de ropa y enunciado por el nivel socioeconómico alto (ver Figura A2.13).

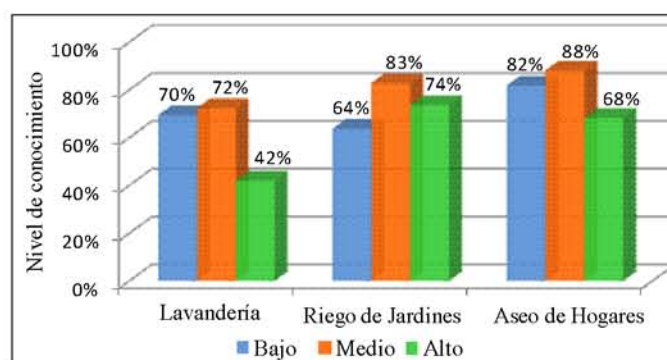


Figura A2.13 Nivel de conocimiento de los habitantes de la zona urbana de Cali sobre los diferentes usos en el hogar del agua lluvia tratada

La aceptación de los diferentes usos en el hogar del agua lluvia son altos, con excepción del uso del agua lluvia en lavado de ropa el cual obtuvo la aceptación más baja en el estrato socioeconómico alto (ver Figura A2.14).

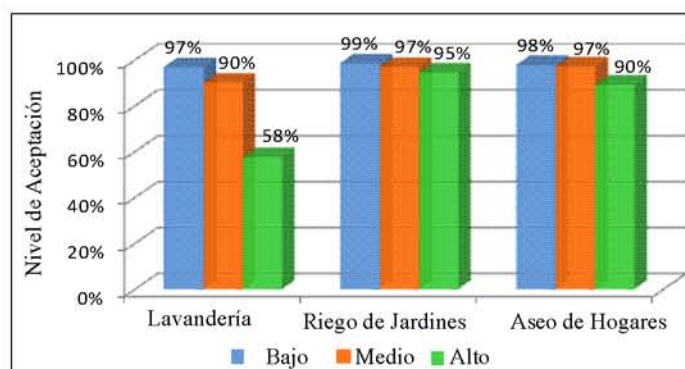


Figura A2.14. Nivel de aceptación de los habitantes encuestados de la zona urbana de Cali sobre los diferentes usos en el hogar del agua lluvia tratada

El comportamiento de la posibilidad de implementación de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias es similar al del sistema de reuso de aguas grises donde la forma de pago menos aceptada es la diferida por cuotas en el recibo de los servicios públicos. Sin embargo, hay una alta aceptación de la implementación del sistema si es apoyado económicamente por el gobierno (ver Tabla A2.12).

Tabla A2.12. Posibilidad de implementación de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias a través de tres formas de pago por estrato socioeconómico

Tipo de financiación	p nivel bajo	p nivel medio	p nivel alto	p total	Varianza	Nivel de confianza	Error	Intervalo de confianza	
								Límite inferior	Límite superior
1	0,803	0,789	0,842	0,801	0,00082	95%	0,061	0,740	0,862
2	0,720	0,648	0,474	0,670	0,00112	95%	0,072	0,598	0,741
3	0,924	1,000	0,889	0,949	0,00025	95%	0,033	0,916	0,982



Sustainable Water Improves Tomorrow's Cities' Health - SWITCH Project

Proposal of Solution for the Decontamination and Recuperation of Water Resources in the Municipality of Cali

Appendix 3

Description of the Expansion Area Cali-Jamundí Corridor

3.1 LOCALIZACIÓN

La Zona de Expansión de la Ciudad de Cali es el área de futuro desarrollo urbanístico del municipio de los próximos años denominada Corredor Cali – Jamundí. Está localizado al sur de la ciudad, en el valle geográfico del río Cauca en un área de 1.669 ha (DAPM, 2000) (ver Figura A3.1)

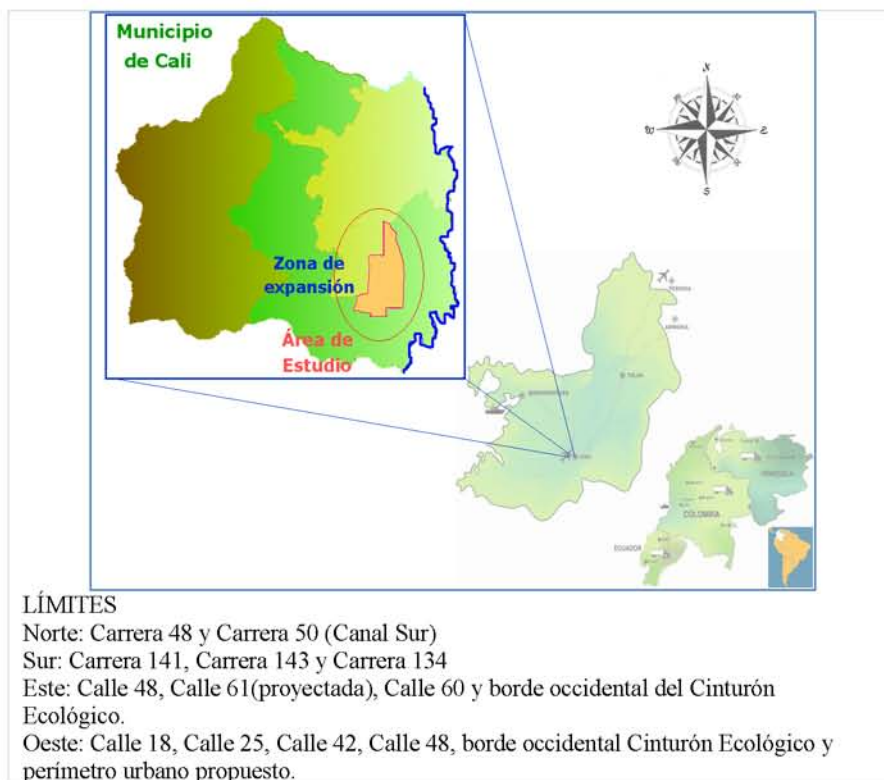


Figura A3.1 Localización

3.2 CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL

3.2.1 Tipo de suelo:

Esta área está asentada en suelos de dureza media, presenta un bajo potencial de licuación y ampliación de la onda sísmica. Geomorfológicamente se distinguen dos unidades (ver Figura A3.2).

Conos aluviales del río Pance. (Qd): presenta principalmente sedimentos grueso-granulares de tipo grava, con intercalaciones de materiales más finos, tipos limos y arcillas, niveles freáticos con profundidades mayores a los 8 m.

Zonas Resecadas y rellenos de cauces (Q5): áreas dentro de la llanura aluvial del río Cauca, predominan limos, con intercalaciones de gravillas y fragmentos, junto con algún porcentaje de material tipo arena con niveles freáticos a profundidades mayores a los 3 m.

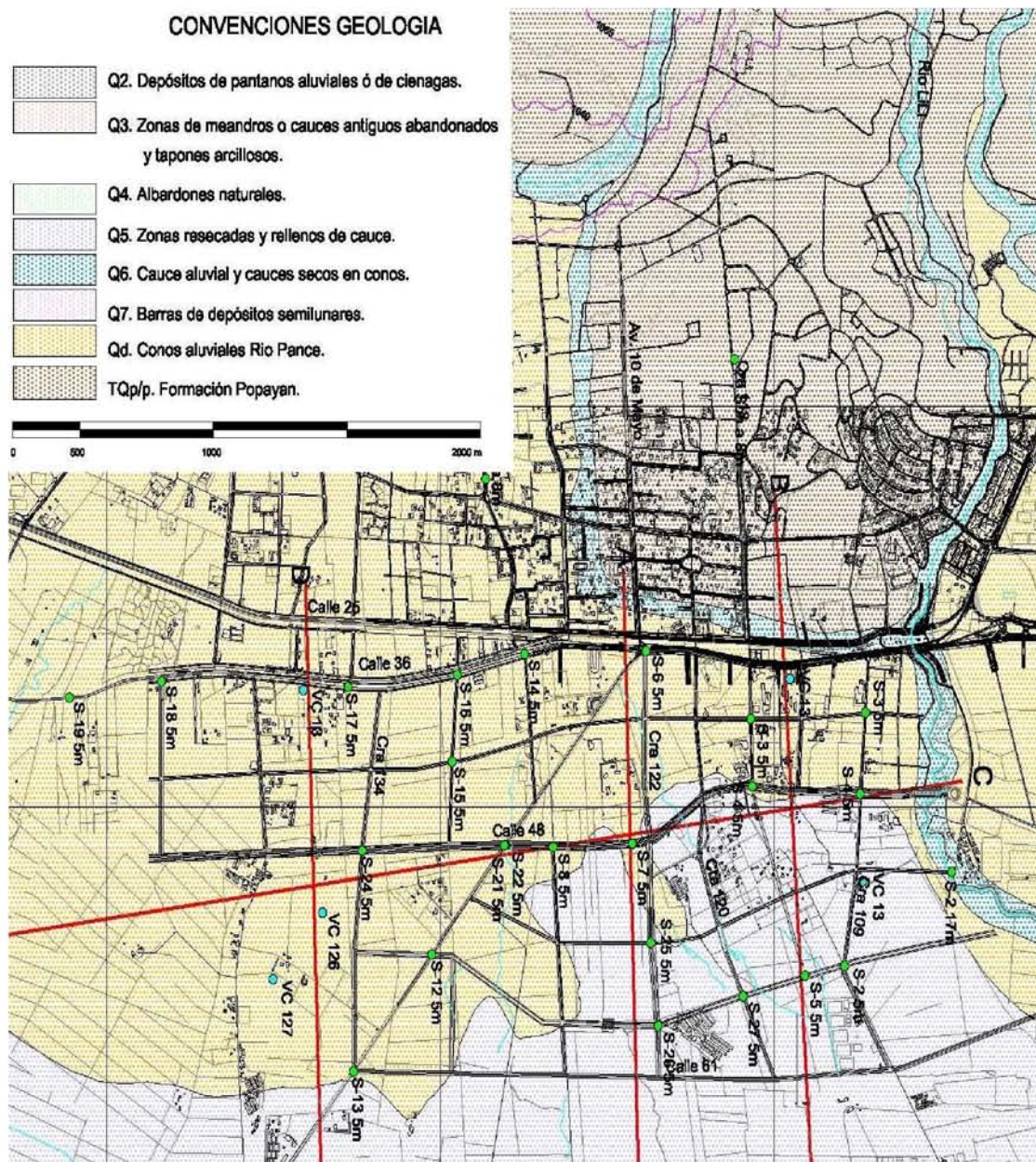


Figura A3.2 Geología
Fuente: (EMCALI *et al.*, 2006)

3.2.2 Topografía

Las pendientes varían entre el 3% y 15%, lo cual presenta facilidad de drenaje hacia los ríos Cauca, Jamundí o Canal Sur. El terreno es de características planas con pendientes entre los 0 y 2 grados, la altura máxima en la zona se encuentra alrededor de los 1030 msnm y la mínima en 955 msnm.

El área de estudio se encuentra por encima de los niveles de inundación máxima registrada en la creciente del río Cauca ocurrida en el año 1950.

En la Figura A3.3 se presentan las curvas de nivel del área de estudio.

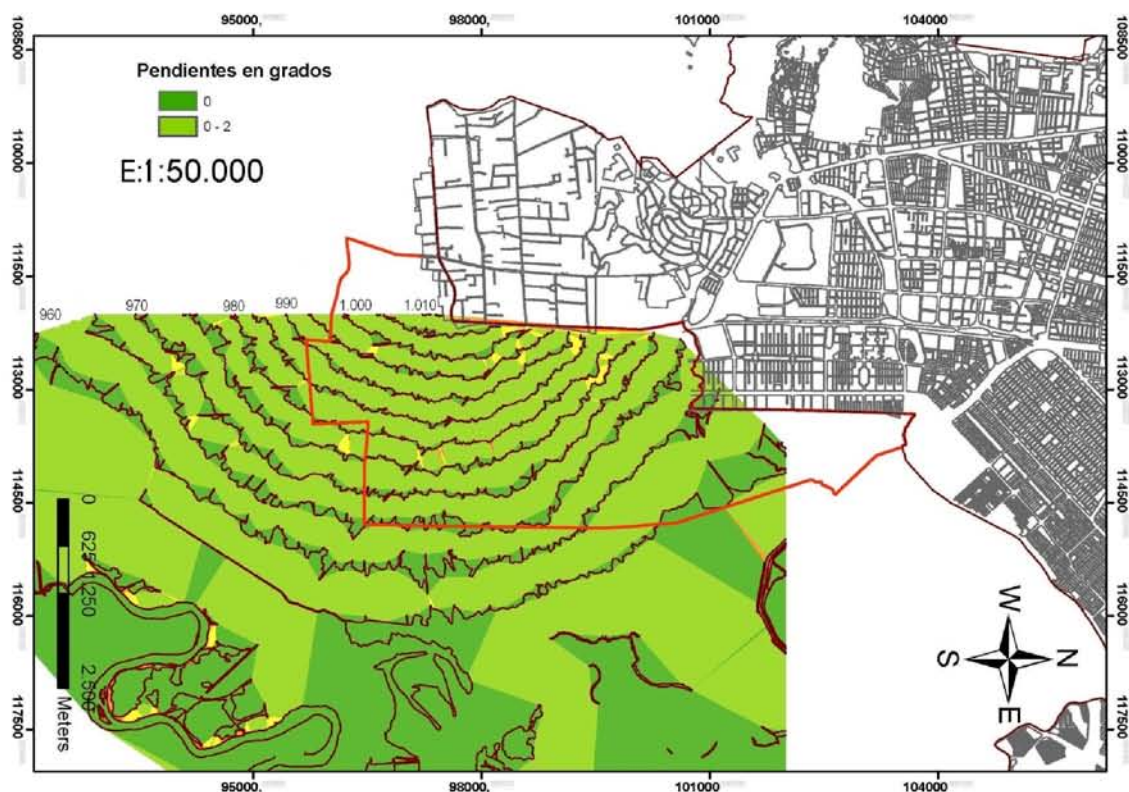


Figura A3.3 Topografía

3.2.3 Hidrología

La zona de expansión (ZEC) se encuentra localizada en el área de drenaje de los ríos Jamundi y Lili. Climatológicamente presenta un comportamiento bimodal característico del Valle del Cauca, en términos de precipitación y evaporación. Con base en la distribución y análisis espacial la temperatura en el departamento, se estimó que en el área de estudio se la temperatura media oscila en un rango de 23 a 25°C (Figura A3.4).

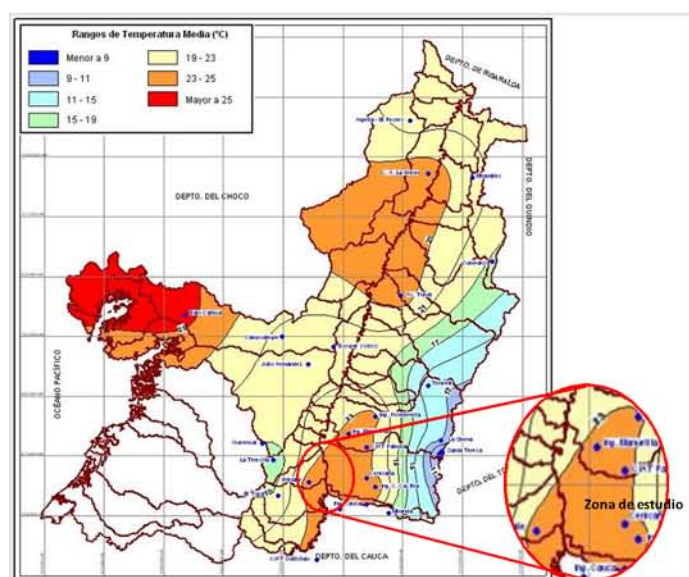


Figura A3.4 Isolíneas de temperatura en el departamento del Valle del Cauca.

Fuente: (CVC, 2007)

Para el análisis climatológico en la zona de estudio se tomó como referencia la estación El Palacio ubicada en la cuenca del río Jamundí, por presentar una alta correlación con la estación la Ladrillera (CVC, 2009), que es la estación representativa de la zona de estudio. La estación La Ladrillera presenta un inconveniente por su limitado periodo de registro de datos de 17 años (1983-2000), a diferencia de la estación El Palacio que presenta un registro de 40 años (1970-actual), lo que significa un análisis del comportamiento climático más confiable. La Figura A3.5 presenta la precipitación media mensual multianual en el periodo comprendido entre 1983 y el año 2000 para ambas estaciones, donde se observa la correlación existente.

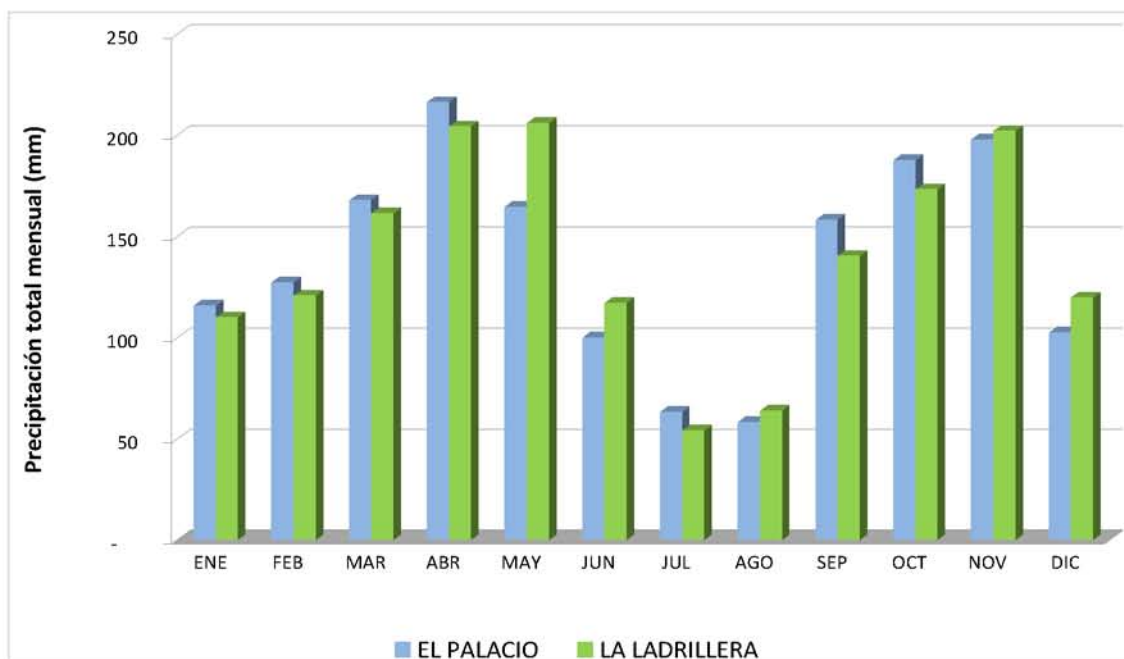


Figura A3.5. Promedio precipitación mensual multianual periodo 1983-2000

Una vez seleccionada la estación climatológica El Palacio, se realizó el balance climatológico simple con escala de agregación mensual multianual, que permitió observar el comportamiento bimodal de la precipitación y la evaporación en un año hidrológico, identificando así, dos periodos húmedos comprendidos entre los meses de marzo, abril y mayo; y octubre, noviembre y diciembre; y dos periodos secos comprendidos en los meses de enero y febrero; y junio, julio, agosto y septiembre (Figura A3.6).

La precipitación media mensual multianual de la zona de estudio es de 121,60 mm, con máximas de 195,9 mm en el mes de abril y mínimas de 51,22 mm en el mes de julio, entre tanto la evaporación de la zona presenta un comportamiento con variaciones leves, encontrando una evaporación media mensual multianual de 123,58 mm, con máximas de 143,44 mm en el mes de agosto y mínimas de 105,10 mm en el mes de noviembre.

En cuanto al comportamiento climático con escala de agregación anual multianual, la precipitación media para la zona de estudio es de 1570 mm con máximas de 2256 mm y mínimas de 890 mm.

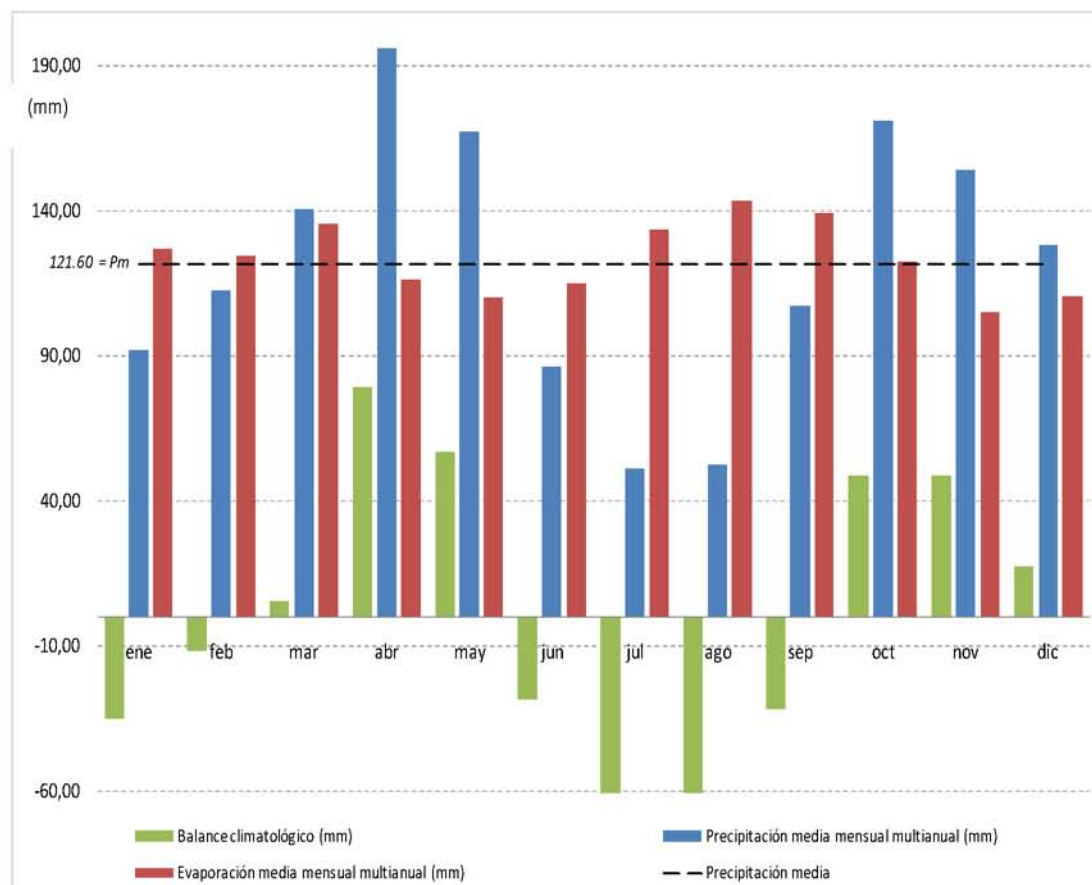


Figura A3.6 Balance simple estación El Palacio

En los últimos 10 años la precipitación ha sufrido disminuciones significativas, oscilando entre 1109 mm/año y 1871 mm/año. De acuerdo con el IDEAM, para todo el occidente colombiano, se han caracterizado los años 2002 y 2006 como periodos húmedos, lo cual se verificó en el análisis temporal de la precipitación a escala anual multianual. Específicamente para la zona de estudio se identificaron como años húmedos el 2000, 2002, 2003, 2006 y 2008, por tener valores superiores a la precipitación media (1570 mm/año). Por el contrario los años 2001, 2004, 2005, 2007 y 2009 fueron catalogados como periodos secos.

3.2.4 Uso del suelo

En el área predominan los usos en ganadería extensiva y agricultura con predominio de caña. Se encuentran zonas desarrolladas en usos institucionales, colegios y uso recreativo vivienda aislada o en parcelaciones, y centros deportivos. En la Figura A3.7 se presenta la zona de expansión superpuesta a estos usos los cuales se continuarían ejerciendo posteriores a la urbanización.

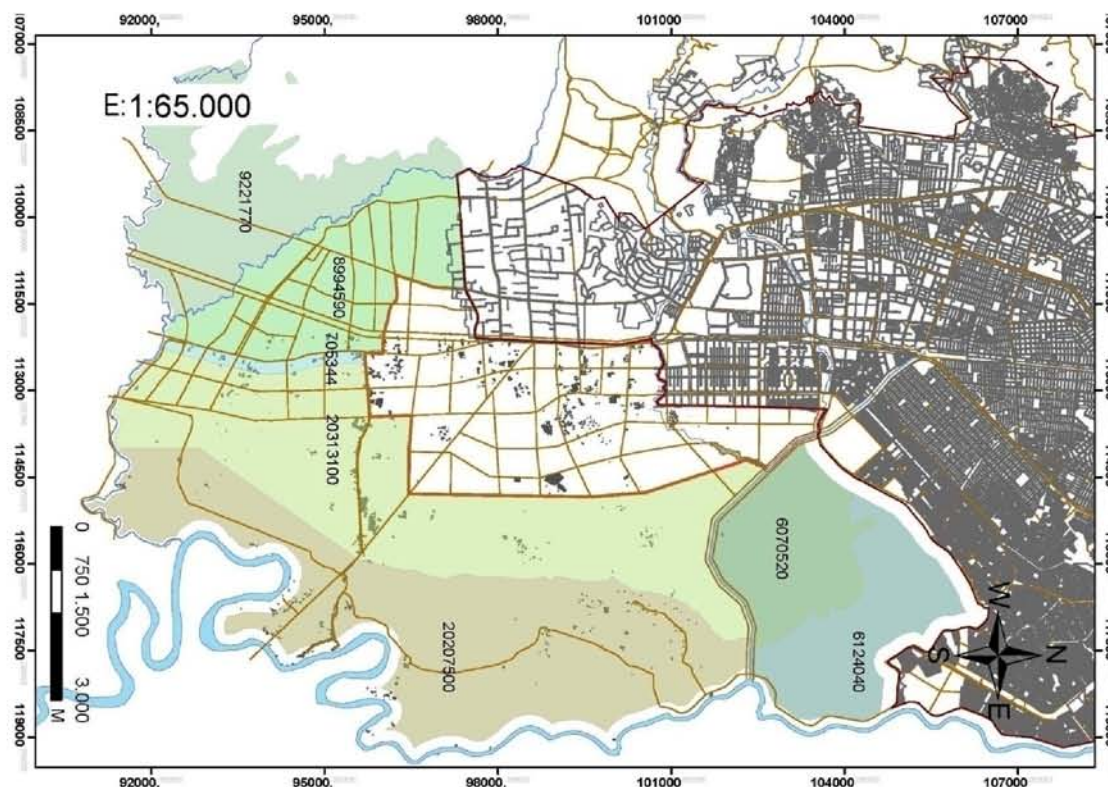


Figura A3.7 Usos del Suelo

3.3 CARACTERIZACIÓN URBANA

3.3.1 Generalidades

El Corredor Cali-Jamundí no tiene un polígono normativo que la regule, ni especificaciones de urbanización, tipo de vivienda o estratificación, la urbanización de la zona se realiza a través de la formulación y adopción de Planes Parciales como instrumentos mediante los cuales se desarrollan y complementan las disposiciones del plan de ordenamiento territorial.

Mediante cada plan parcial se establece el aprovechamiento de los espacios privados, con la asignación de sus usos específicos, intensidades de uso y edificabilidad, así como las obligaciones de cesión y construcción y dotación de equipamientos, espacios y servicios públicos, que permitirán la ejecución asociada de los proyectos específicos de urbanización y construcción de los terrenos incluidos en su ámbito de planificación.

A la fecha en el Departamento Administrativo de Planeación Municipal se han radicado 9 planes parciales correspondientes al desarrollo urbano de 547,45 ha.; de los cuales 4 se encuentran adoptados y los 5 restantes en proceso de revisión y aprobación, la Tabla A3.1 lista los planes parciales formulados para la zona, los cuales se presentan en la Figura A3.8, la cual además presenta características generales de la infraestructura vial y de los sistemas estructurantes.

Tabla A3.1 Planes parciales formulados

PLAN PARCIAL	LOCALIZACIÓN	ÁREA BRUTA (m ²)
Ciudad Meléndez	Norte: Carrera 97 Occidente: calle 50 suroriente: calle 75 Nororiente: Calle 61	1.019.418,00
Bochalema	Occidente: Calle 25, Av. Panamericana. Norte: Carrera 109 Oriente: Calle 48, Av. Ciudad de Cali. Sur: Carrera 115	396.745,95
Las Vegas Comfandi	Oriente: Canal Sur (carrera 50) y Río Lili Norte: Futura carrera 83C Occidente: Calle 50 Sur: Futura carrera 86	451.282,10
El Carmen y San Bartolo	Oriente: Calle 48 Norte: Futura Carrera 138 Occidente: Emisora Radio El Sol, Jaime Córdoba V., herederos de Dolores Bedoya y Avícola Nápoles. Sur: Carrera 143 al hormiguero	230.094,86
Cachipay	Occidente: Calles 55 y 57. Norte: Carrera 118 y 109 Oriente: Calle 61 Sur: Carrera 120	626.100,00
El Capricho	Occidente: con la Calle 42 Norte: con la Carrera 122 Oriente: con la Calle 61 Sur: con la Carrera 126	1.541.003,96
El Verdal	Occidente: Calle 48 PP Centro Intermodal Sur Norte: río Lili Oriente: Centro de Reclusión de Menores y Todelar Sur: Carreras 109 y 115	309.501,27
Piedrachiquita	Occidente: Calle 25 Vía Panamericana y la vía Cali - Puerto Tejada. Norte: Carrera 121 predio del antiguo Autocine Oriente: Calle 49 junto al terreno propiedad de Ovidio Peláez y CIA Ltda. Sur: Carrera 122, Hacienda El Capricho.	603.357,52

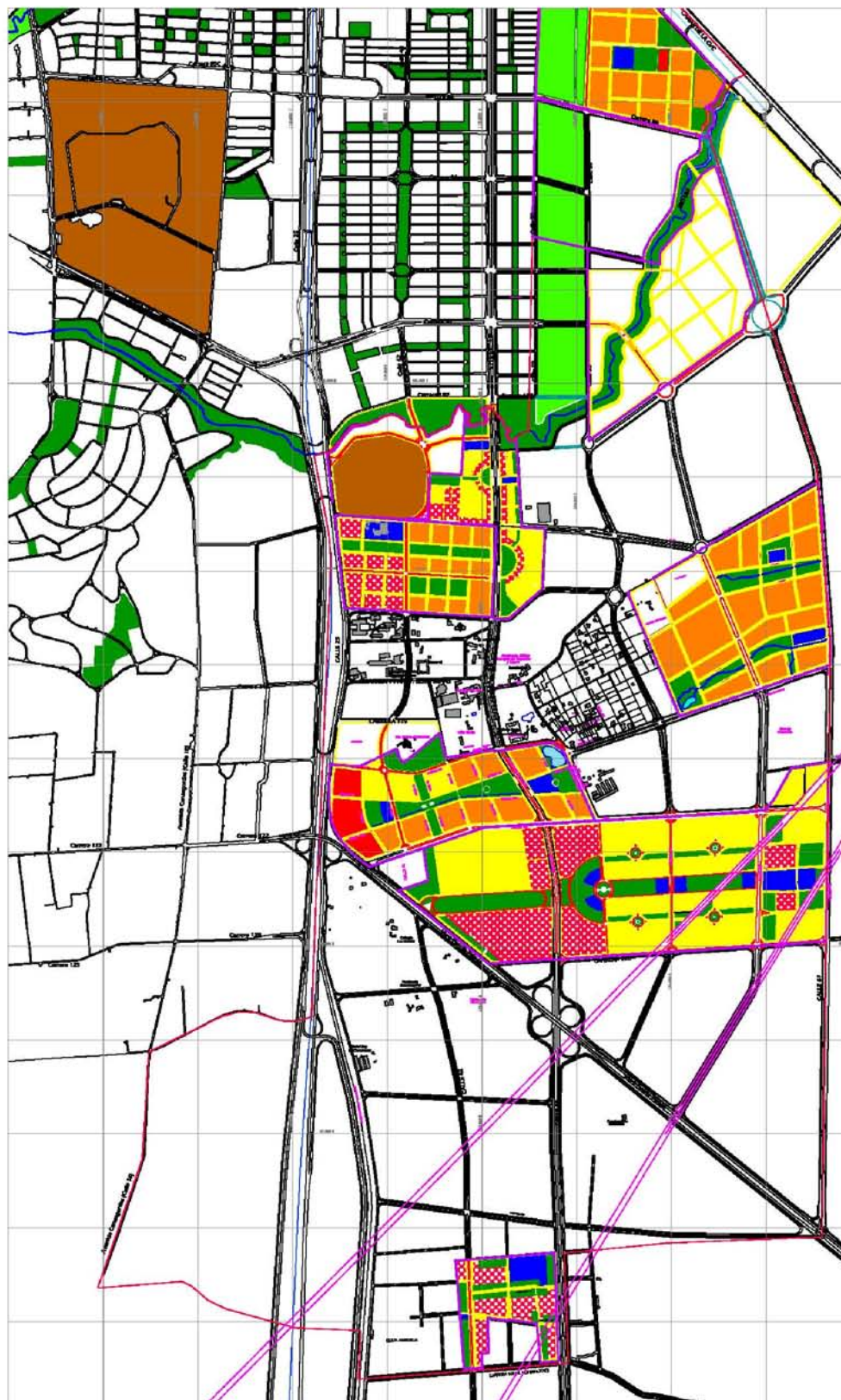


Figura A3.8 Localización de planes parciales y predios en el área de Expansión Urbana Cali.

Fuente: DAPM, 2000

A continuación se describen las características de los planes parciales formulados con base en la simulación urbano-financiera correspondiente al modelo urbano que cada uno presenta, la cual se realiza a través del análisis de los presupuestos de los proyectos y una utilidad supuesta como proyecto social e institucional. Cabe resaltar que la información consignada proporciona un marco general de cómo se puede desarrollar esta área urbana, sin embargo la tipología de las viviendas y las formas de urbanización están supeditadas a las características sociales, económicas y del mercado en el momento de ejecutar los planes en sí.

Los planes parciales formulados se caracterizan por hacer un uso del suelo principalmente residencial tal como lo presenta la Tabla A3.2 a excepción del plan Centro Intermodal de Transporte Regional de Pasajeros del Sur el cual es un área de actividad de centralidad para el transporte de la ciudad de Cali, por lo cual en posteriores tablas descriptivas de los planes parciales no se presenta. En el área no se proyecta el uso industrial e institucional.

Tabla A3.2 Plan parcial por suelos residenciales de la zona de expansión sur

PLAN PARCIAL	ÁREAS DE ACTIVIDAD						
	Residencial Neto	Residencial Predominante	Actividad Mixta	Económico Predominante	Industrial Predominante	Especial Institucional	Área Actividad Centralidad
Ciudad Meléndez	-	494.798,65	-	-	-	-	-
Bochalema	-	112.635,31	98.214,78	-	-	-	-
Las Vegas Comfandi	252.540,31	-	-	6.613,81	-	-	-
El Carmen y San Bartolo	-	-	88.545,92	-	-	-	-
Cachipay	-	336.760,00	-	-	-	-	-
El Capricho	538.570,52	-	289.063,03	-	-	-	-
El Verdal	72.292,18	-	48.761,91	-	-	-	-
Piedrachiquita	52.841,11	173.013,62	-	72.178,01	-	-	-
Centro Intermodal de Transporte Regional de Pasajeros del Sur	-	-	-	-	-	-	181.216,62

En la Tabla A3.3 se presenta las áreas y tipos de usos las mismas en cada plan parcial. La Tabla A3.4 presenta la agnación de área por tipo de vivienda y las posibles densidades poblacionales y de urbanización que se dan en estas áreas de desarrollo.

Tabla A3.3 Áreas y tipos de suelos de la zona de expansión sur

PLAN PARCIAL	ÁREA BRUTA (m ²)	AFECTACIONES		ÁREA NETA URBANIZABLE (m ²)	CESIONES OBLIGATORIAS			ÁREA ÚTIL (m ²)
		VIAL (m ²)	OTRAS (m ²)		ESPACIO PÚBLICO 18% (m ²)	EQUIPAMIENTOS 3% (m ²)	VÍAS (m ²)	
Ciudad Meléndez	1.019.418	137.920	-	881.497	194.005	30.582	162.110	494.798
Bochalema	396.745	44.134	-	352.611	71.414	11.902	58.443	210.850
Las Vegas Comfandi	451.282	39.936	-	411.345	79.956	13.538	58.695	259.155
El Carmen y San Bartolo	230.094	25.376	1.942	202.776	50.529	27.281	36.419	88.545
Cachipay	626.100	58.133	11.587	556.380	112.713	18.789	88.117	336.760
El Capricho	1.541.003	169.200	53.639	1.318.164	266.518	55.329	168.663	827.652
El Verdal	309.501	57.885	4.751	246.864	57.231	9.285	59.294	121.054
Piedrachiquita	603.357	89.925	-	513.431	119.951	19.375	76.072	298.032

Tabla A3.4 Agnación de área por tipo de vivienda para la zona de expansión sur

PLAN PARCIAL	ÁREA VIVIENDAS (m ²)				UND VIVIENDAS				DENSIDADES	
	VIS	VIP	NO VIS	TOTAL	VIS	VIP	NO VIS	TOTAL	Viv/Ha	Hab/Ha
Ciudad Meléndez	352.469,99		142.304,09	494.774,08	1.772	0	5.056	6.828	77,46	309,84
Bochalema	42.170,02		168.680,92	210.850,94	846	0	3.384	4.230	119,96	479,85
Las Vegas Comfandi	101.107,10	158.048,01	-	259.155,11	1.357	2093	0	3.450	83,87	335,48
El Carmen y San Bartolo	21.461,85		67.08,09	88.545,94	587	0	1.833	2.420	119,34	477,37
Cachipay	142.048,90		194.711,10	336.760,00	2.490	0	3.510	6.000	107,84	431,36
El Capricho	168.826,09		658.681,20	827.507,29	1.940	0	7.760	9.700	73,59	294,35
El Verdal	32.166,74		88.887,35	121.054,09	716	0	1.605	2.321	94,02	376,08
Piedrachiquita	64.791,18		233.242,66	298.033,84	885	0	1.815	2.700	52,59	210,35

VIS: Vivienda de interés social. Valor máximo de la vivienda 135 SMLMV a 2010 \$69.525.000

VIP: Vivienda de interés prioritario. Valor máximo de la vivienda 70 SMLMV a 2010 \$36.050.000

NO VIS: Viviendas diferentes a VIS y VIP.

Se encuentra que las áreas residenciales predominantes en estos planes parciales corresponden a viviendas no VIS correspondiendo a un 66% es decir construcciones para un nivel socioeconómico asociado a los estratos 5 y 6, como se presenta en la Figura A3.9, seguida por viviendas VIS con un 28% es decir para estratos entre el 3 y 4, y viviendas VIP con un 6% relacionados con los estratos 1-2. En promedio se encuentra una densidad poblacional de 364 Hab/Ha asociado a una densidad de viviendas de 91 unidades/Ha.

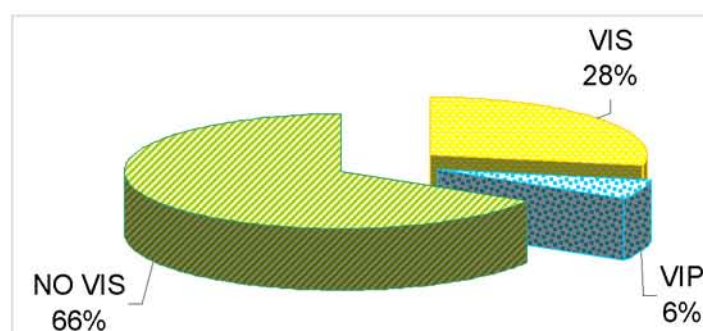


Figura A3.9 Distribución porcentual de tipo de vivienda en planes parciales formulados

3.3.2 Sistema vial

Para el área de estudio se tiene proyectado una red de vías las cuales se articulan con las vías del área ya consolidada. La red está compuesta por una vía interregional, la vía Cali - Jamundí, y una serie de vías arterias principales y secundarias además de las vías colectoras y locales. En la Tabla A3.5 se presentan las características del sistema vial principal proyectado para la zona con las características respectivas.

Tabla A3.5 Características del sistema vial de la zona de expansión sur

Identificación	Jerarquía	Lado Izquierdo				Separador Central	Lado Derecho				Ancho Total
		Andén	Servicio	Separador Lateral	Principal		Principal	Separador Lateral	Servicio	Andén	
Entre carrera 100 y río Jamundi	VI 8.00	7,00	7,5	10,50	44,00	10,50	7,50	7,00	8,00	110,00	
Calle 48 (Avenida ciudad de Cali) entre carrera 50 y río Jamundi	VAP	4,00	7,20	1,20	9,60	16,00	9,60	1,20	7,20	4,00	60,00
Carrera 102 – Calle 75 entre Calle 25 y Carrera 50	VAP	5,00	7,20	2,00	10,50	10,60	10,50	2,00	7,20	5,00	60,00
Carrera 122 entre Calle 25 y Calle 61	VAP	5,00			13,20	8,60	13,20			5,00	45,00
Calle 60 entre vía a carrera 134 y carrera 50	VAS	5,00			9,60	15,80	9,60			5,00	45,00
Carrera 143 desde la vía Cali – Jamundi hasta la calle 48	VAS	5,00			9,60	7,80	9,60			5,00	37,00
Carrera 109 entre la calle 48 y calle 61	VAS	5,00			9,60	7,80	9,60			5,00	37,00
Carrera 120 entre la calle 48 y calle 61	VAS	5,00			9,60	7,80	9,60			5,00	37,00
Carrera 122 entre la calle 5 y calle 25 VAP	4.00			9,60	2,80	9,60			5,00	30,00	
Av. Cañasgordas (Calle 16 – calle 18) entre carrera 100 y río Jamundi	VAP	4,00			9,60	2,80	9,60			5,00	30,00
Carrera 120 entre calle 25 y calle 48	VAS	2,80			7,20	5,00	7,20			2,80	25,00
Carrera 109 entre calle 25 y calle 48	VAS	2,80			7,00	1,0	7,00			2,00	19,00

Fuente: DPAM, 2000

3.4 REFERENCIAS

DAPM (2000). Plan de Ordenamiento Territorial de la Ciudad de Santiago de Cali. Cali, Colombia, Departamento Administrativo de Planeación Municipal Alcaldía Municipal.

EMCALI and Hidroccidente (2006). Estudio de Alternativas de Dotación de Los Servicios Públicos de Acueducto, Alcantarillado y Complementario de Alcantarillado En La Zona de Expansión de La Ciudad de Cali Denominada “Corredor Cali-Jamundi”. Cali, Colombia.



Sustainable Water Improves Tomorrow's Cities' Health - SWITCH Project

Proposal of Solution for the Decontamination and Recuperation of Water Resources in the Municipality of Cali

Appendix 4

Design of constructed wetland for greywater treatment of a Cali household

4.1 ALMACENAMIENTO Y TRATAMIENTO

Se consideran como aguas grises las provenientes de la ducha y la lavadora. De otro lado el caudal máximo a captar se presenta en el momento de lavado de ropa ya que se tiene un volumen de aproximadamente 150 L en un tiempo de 40 a 93 minutos según el ciclo de lavado, además se debe abordar una alta probabilidad de que este uso se puede presentar consecutivamente hasta en dos ocasiones por día, razón por la cual se requiere un tanque de 250 L que amortigüe este pico de caudal de tal forma que no se sobrecargue la unidad de tratamiento.

4.2 SISTEMA DE TRATAMIENTO

En particular para el tratamiento del agua gris existe una amplia oferta tecnológica que incluye sistemas físicos, químicos o biológicos (Franken, 2007; Li *et al.*, 2009; Winward *et al.*, 2008), siendo estos últimos factibles ya que estas aguas presentan una relación de DBO/DQO de 0.5 (Hernandez *et al.* 2007 y Knerr *et al.* 2008 citado por (Li *et al.*, 2009)).

En el contexto local la aplicación de sistemas por membranas o sistemas con requerimientos de químicos presentan restricciones ya que estos tienen altas demandas energéticas o de insumos químicos. En contra posición sistemas como la filtración en arena y los humedales resultan tecnologías más costo efectivas para el tratamiento de las aguas grises, en particular para el caso de la vivienda localizada en el barrio Villacolombia

Estas tecnologías presentan considerables eficiencias de remoción de indicadores de contaminación tanto físicos como químicos y microbiológicos (Winward *et al.*, 2008). Los sistemas de filtración en arena son ampliamente utilizados en el Reino Unido, con la ventaja que remueven patógenos (Jefferson *et al.*, 2000 citado por (Liu *et al.*, 2010); en estos sistemas los sólidos son removidos por procesos físicos y biológicos, la capa superficial es considerada una capa biológica activa donde la biodegradación se da en los primeros 20 cm del filtro alcanzando remociones de 90% en DBO₅ y 80% en DQO (Sabbah *et al.*, 2003 citado por (Halalsheh *et al.*, 2008)).

Los humedales recientemente han captado atención en el tratamiento de aguas grises, experiencias en Centro América, ((Dallas *et al.*, 2004), Medio Oriente (Gross *et al.*, 2007) y el Reino Unido (Frazer-Williams *et al.*, 2008 citado por (Liu *et al.*, 2010) muestran altas tasas de remoción si se da un tiempo de retención apropiado. La remoción de los contaminantes ocurre por procesos físicos, químicos y biológicos que dependen de factores como la carga superficial aplicada y la disponibilidad de aceptor de electrones (Caselles-Osorio y Garcia, 2006 citado por (Halalsheh *et al.*, 2008)).

Características del agua gris

Teniendo en cuenta que en la ciudad de Cali, no se han realizado estudios de caracterización de las aguas grises y que a la fecha no se ha caracterizado las aguas grises de la vivienda en cuestión se retoma el estudio de (Birks *et al.*, 2007) donde se presenta características de aguas grises en diferentes estudios, las cuales se listan en la Tabla A4.1, en esta se presentan sólo los datos de aguas grises provenientes de duchas, lavamanos y lavado de ropa, se excluyen las de la cocina. La Tabla A4.1 presenta que en cuanto a DBO las aguas grises oscilan en rangos de 76 a 252 mg/L, se encuentra como un valor medio de los diferentes estudios 171 mg/L, el cual será utilizado para el cálculo del sistema de tratamiento.

Tabla A4.1 Caracterización de aguas grises en diferentes estudios

PARÁMETRO	UNIDAD	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	AUTOR CITADO
DBO	mg/L	129	155	142	Laine 2001
		216	252	234	Surendran and Wheatley 1998
		76	200	138	Christova-Boal <i>et al.</i> 1996
		140	202	171	Promedio calculado

Fuente: (Birks *et al.*, 2007)

Características del agua gris tratada

Teniendo en cuenta que el agua gris a tratar tiene como uso final la descarga de baños y el riego de jardines, y que a nivel nacional no hay normatividad para el reuso del agua gris en estos propósitos, se retoma los estándares de calidad de reuso del agua residual en distintos países asociada a estos usos presentadas por (Li *et al.*, 2009) donde la norma más restrictiva es la China que requiere como máximo 10 mg/L de DBO para la descarga de baños y un nivel de coliformes fecales <3/100 mL (Ernst *et al.*, 2006, citado por (Li *et al.*, 2009)).

4.3 DIMENSIONAMIENTO DEL HUMEDAL

Características adoptadas para el humedal

- Caudal de diseño 100 L/día
- Relación largo: ancho 3
- Medio de soporte, grava de media, esta presenta una conductividad hidráulica de $7500 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ y una porosidad de 38% (EPA, 1993 citado por (Sierra, 2006)).
- Pendiente: 0.5%
- Altura del humedal 0,6 m

Con base en las características del agua efluente, los requerimientos para reuso del efluente y las características de los medios y de configuración del humedal se realizó el dimensionamiento de la unidad de tratamiento utilizando el modelo de flujo pistón (ver Tabla A4.2).

Tabla A4.2 Datos de entrada y dimensionamiento de humedal para tratamiento de aguas grises

DATOS DE ENTRADA		
Caudal (m ³ /día)	Q	0,10
Temperatura (°C)	T	25
Relación Largo:Ancho		3
Conductividad hidráulica (m ³ /m ² *día)		7500
Tiempo de retención hidráulico (día)	TRH	1
DBO afluente (mg/L)	Co	171,00
Porcentaje de remoción DBO		94%
DBO efluente (mg/L)	Ce	10
Coliformes fecales 100 ml afluente	No	2 E+06
Porcentaje de remoción de coliformes fecales		100%
Coliformes fecales 100 ml efluente	Ne	3
Altura (m)	d	0,60
Porosidad del medio	n	38%
Pendiente (m/m)	s	0,005
Constante para 20°C	K20	1,104
DIMENSIONAMIENTO		
Remoción de DBO		
Constante corregida con temperatura DBO	Kt	1,48
Area Superficial (m ²)	As	0,84
Ancho del humedal (m)	w	0,5
Largo del humedal (m)	L	1,6
Tiempo de retención hidráulico (día)	TRH	1,90
Remoción de Coliformes fecales		
Constante corregida con temperatura N	Kt	6,20
Area Superficial (m ²)	As	0,93
Ancho del humedal (m)	w	0,56
Largo del humedal (m)	L	1,7
Tiempo de retención hidráulico (día)	TRH	2,12

Al comparar las dimensiones según la remoción de DBO y coliformes, se adoptan las asociadas al parámetro microbiológico para no tener requerimiento de desinfectante. Las dimensiones del humedal es de 1,7 m x 0,56 m con una profundidad de 0,6 m.

La cantidad de obra y el presupuesto del humedal se presentan en la Tabla A4.3.

Tabla A4.3 Cantidad de obra y presupuesto humedal

ÍTEM	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Pesos)	SUBTOTAL
Ladrillo limpio	Unidad	106	430	45.580
Saco de cemento	Unidad	1	22.000	22.000
Impermeabilizante	Unidad	1	50.000	50.000
Grava de 1/2"	m ³	1	50.000	50.000
Válvula de 1/2"	Unidad	1	15.000	15.000
Tubería de 1/2" y accesorios	Global	1	50.000	50.000
Plantas	Unidad	6	3.800	22.800
Mano de obra	Global	1	50.000	50.000
Transporte	Global	1	30.000	30.000
TOTAL				335.380

4.4 DIMENSIONAMIENTO DEL FILTRO AEROBIO

Se dimensiona el filtro con el modelo presentado por Reeds, a partir de la carga orgánica utilizando la siguiente expresión:

$$A = \frac{Q * BOD_5}{0,024 kg \frac{BOD_5}{m^2 d}}$$

$$V = A * H$$

(Halalsheh *et al.*, 2008)

Donde

A: Área (m²)

Q: Caudal (m³/día)

BOD₅: DBO kg/m³

$$A = \frac{0,10 \frac{m^3}{día} * \frac{0,171 Kg}{m^3}}{0,024 \frac{Kg}{m^2 día}} = 0,7125 m^2$$

Comercialmente se encuentran recipientes cilíndrico que contienen volúmenes de 500 L con áreas de 0,83 m² la cual chequearía para el requerimiento mínimo de área de este sistema.

La cantidad de obra y el presupuesto se presentan en la Tabla A4.4

Tabla A4.4 Cantidad de obra y presupuesto filtro aerobio

ÍTEM	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Pesos)	SUBTOTAL
Tanque plástico	Unidad	1	99.900	99.900
Arena	m ³	1	40.000	40.000
Válvula de 1/2"	Unidad	1	15.000	15.000
Tubería de 1/2" y accesorios	Global	1	50.000	50.000
Transporte	Global	1	30.000	30.000
Mano de obra	Global	1	50.000	50.000
Tanque de almacenamiento de agua tratada	Unidad	1	50.000	50.000
TOTAL				334.900

4.5 BIBLIOGRAFÍA

Bernal, D. P., and Cardona, D. A. (2003). "Selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales domésticas por métodos naturales: Una metodología con énfasis en aspectos tecnológicos," Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Birks, R., and Hills, S. (2007). "Characterisation of Indicator Organisms and Pathogens in Domestic Greywater for Recycling." *Environmental Monitoring and Assessment*, 129(1), 61-69.

- Dallas, S., Scheffe, B., and Ho, G. (2004). "Reedbeds for greywater treatment--case study in Santa Elena-Monteverde, Costa Rica, Central America." *Ecological Engineering*, 23(1), 55-61.
- EPA. (2000). "Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Humedales de flujo subsuperficial."
- Franken, M., ed. (2007). *Gestión de aguas, conceptos para el nuevo milenio*, Primera Edición Ed., Plural Editores, Bolivia.
- Gross, A., Kaplan, D., and Baker, K. (2007). "Removal of chemical and microbiological contaminants from domestic greywater using a recycled vertical flow bioreactor (RVFB)." *Ecological Engineering*, 31(2), 107-114.
- Halalsheh, M., Dalahmeh, S., Sayed, M., Suleiman, W., Shareef, M., Mansour, M., and Safi, M. (2008). "Grey water characteristics and treatment options for rural areas in Jordan." *Bioresource Technology*, 99(14), 6635-6641.
- Li, F., Wichmann, K., and Otterpohl, R. (2009). "Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses." *Science of The Total Environment*, 407(11), 3439-3449.
- Liu, S., Butler, D., Memon, F. A., Makropoulos, C., Avery, L., and Jefferson, B. (2010). "Impacts of residence time during storage on potential of water saving for grey water recycling system." *Water Research*, 44(1), 267-277.
- Madera, C. A., Peña, M. R., and Van Ginneken, M. (2003). "Humedales de Flujo Subsuperficial: Una Alternativa Natural para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Zonas Tropicales." *Ingeniería y competitividad*, 5, 27-35.
- Reed, S., Crites, R., and Middlebrooks, E. J. (1995). *Natural systems for waste management and treatment*, McGraw-Hill, New York.
- Rodríguez, C. (2003). "Humedales construidos. Estado del arte.(II)." *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 14(3), 42-48.
- Romero Rojas, J. A. (2004). *Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principio de diseño*, Tercera Ed., Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá, Colombia.
- Romero Rojas, J. A. (2005). *Lagunas de estabilización de aguas residuales*, Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá, Colombia.
- Sierra, J. F. (2006). "Tratamiento y reutilización de aguas grises en proyectos de vivienda de interés social a partir de humedales artificiales.," Universidad de los Andes, Bogotá-Colombia.
- Winward, G. P., Avery, L. M., Frazer-Williams, R., Pidou, M., Jeffrey, P., Stephenson, T., and Jefferson, B. (2008). "A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse." *Ecological Engineering*, 32(2), 187-197.



Sustainable Water Improves Tomorrow's Cities' Health - SWITCH Project

Proposal of Solution for the Decontamination and Recuperation of Water Resources in the Municipality of Cali

Appendix 5

Estimation of rainwater storage

5.1 CÁLCULO DE VOLUMEN MÍNIMO PARA REQUERIMIENTO TOTAL DE DEMANDA

(Materon, 1997)

Se procede a la construcción de la curva de masas de precipitación, con esta opción se busca tener en cuenta la duración máxima del periodo de sequía a fin de proveer el volumen de agua necesario para satisfacer una demanda de agua determinada. Se recomienda seleccionar el periodo de tres (3) años consecutivos más secos.

Para el cálculo del potencial de captación de la precipitación, se utiliza la expresión:

$$Va = A \times C \times Pm$$

Donde:

Va: Volumen de abastecimiento por aguas lluvias (m³)

A: Área de captación (m²)

C: Coeficiente de escurrimiento del material de captación

Pm: Precipitación de diseño (mm)

Otro elemento importante es la identificación de la demanda de agua acorde al uso que se pretende dar. El consumo medio diario se obtiene mediante el uso de la expresión:

$$q = \frac{pd}{86400}$$

Donde:

q = consumo medio diario, en (L/s)

p = número de personas

d = dotación en L/per*día

Los cálculos de potencial de captación y de demanda se realizan acorde a la frecuencia de información adquirida (diaria, mensual), el cual permite gráficamente identificar la línea tanto de oferta como de demanda, presentando la máxima desviación entre estas curvas, la distancia vertical máxima representa el volumen necesario que debe tener el tanque.

Los volúmenes requeridos también pueden estar determinados por distintos niveles de aprovechamiento, ejemplo 90%, 70%, 50%, etc.

(CEPIS *et al.*, 2001)

Este método conocido como: “Cálculo del Volumen del Tanque de Almacenamiento” toma como base de datos la precipitación de los 10 ó 15 últimos años. Mediante este cálculo se determina la cantidad de agua que es capaz de recolectarse por metro cuadrado de superficie de techo y a partir de ella se determina

- El área de techo necesaria y la capacidad del tanque de almacenamiento, o
- El volumen de agua y la capacidad del tanque de almacenamiento para una determinada área de techo.

Determinación de la precipitación promedio mensual; a partir de los datos promedio mensuales de precipitación de los últimos 10 ó 15 años se obtiene el valor promedio mensual del total de años evaluados. Este valor puede ser expresado en términos de milímetros de precipitación por mes, o litros por metro cuadrado y por mes que es capaz de colectarse en la superficie horizontal del techo.

$$Pp_i = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} p_i}{n}$$

n : número de años evaluados

pi : valor de precipitación mensual del mes “i”, (mm)

Ppi : precipitación promedio mensual del mes “i” de todos los años evaluados, (mm)

Determinación de la demanda; a partir de la dotación asumida por persona se calcula la cantidad de agua que se necesita para atender las necesidades de la familia o familias a ser beneficiadas en cada uno de los meses

$$D_i = \frac{Nu \times Nd \times Dot}{1000}$$

Nu : número de usuarios que se benefician del sistema.

Nd : número de días del mes analizado

Dot : dotación (L/persona.día)

Di : demanda mensual (m³)

Determinación del volumen del tanque de abastecimiento; teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitaciones de todos los años evaluados, el material del techo y el coeficiente de escorrentía, se procede a determinar la cantidad de agua captada para diferentes áreas de techo y por mes.

$$A_i = \frac{Pp_i \times Ce \times Ac}{1000}$$

Ppi : precipitación promedio mensual (L/m²)

Ce : coeficiente de escorrentía

Ac : área de captación (m²)

Ai : Abastecimiento correspondiente al mes “i” (m³)

Teniendo como base los valores obtenidos en la determinación de la demanda mensual de agua y oferta mensual de agua de lluvia, se procede a calcular el acumulado de cada uno de ellos mes a mes encabezado por el mes de mayor precipitación u oferta de agua. A continuación se procede a calcular la diferencia de los valores acumulados de cada uno de los meses de la oferta y la demanda respectivamente. Las áreas de techo que conduzcan a diferencias acumulativas negativas en alguno de los meses del año se descartan por que el área supuesta no es capaz de captar la cantidad de agua demandada por los interesados. El área mínima de techo corresponde al análisis que proporciona

una diferencia acumulativa próxima a cero (0) y el volumen de almacenamiento corresponde a la mayor diferencia acumulativa. Áreas de techo mayor al mínimo darán mayor seguridad para el abastecimiento de los interesados.

El acumulado de la oferta y la demanda en el mes “i” podrá determinarse por:

$$Aa_i = Aa_{(i-1)} + \frac{Pp_i \times Ce \times Ac}{1000}$$

$$Da_i = Da_{(i-1)} + Nu \times Nd_i \times Dd_i$$

Aai : volumen acumulado al mes “i”, (m³)

Dai : demanda acumulada al mes “i”, (m³)

$$V_i(m^3) = A_i(m^3) - D_i(m^3)$$

Vi : volumen del tanque de almacenamiento necesario para el mes “i”, (m³)

Ai : volumen de agua que se captó en el mes “i”, (m³)

Di : volumen de agua demandada por los usuarios para el mes “i”, (m³)

5.2 BIBLIOGRAFÍA

- Birks, R. and Hills, S. (2007). "Characterisation of Indicator Organisms and Pathogens in Domestic Greywater for Recycling." *Environmental Monitoring and Assessment*, 129(1), 61-69.
- CEPIS, OPS and OMS. (2001). "Guía de diseño para captación de agua lluvia." Lima-Perú.
- Dallas, S., Scheffe, B. and Ho, G. (2004). "Reedbeds for greywater treatment--case study in Santa Elena-Monteverde, Costa Rica, Central America." *Ecological Engineering*, 23(1), 55-61.
- DAPM. (2000). "Plan de Ordenamiento Territorial de la Ciudad de Santiago de Cali." Departamento Administrativo de Planeación Municipal Alcaldía Municipal, Cali, Colombia.
- EMCALI and Hidroccidente. (2006). "Estudio de Alternativas de Dotación de Los Servicios Públicos de Acueducto, Alcantarillado y Complementario de Alcantarillado En La Zona de Expansión de La Ciudad de Cali Denominada "Corredor Cali-Jamundí"." Cali, Colombia.
- Franken, M., ed. (2007). *Gestión de aguas, conceptos para el nuevo milenio*, Primera Edición Ed., Plural Editores, Bolivia.
- Gross, A., Kaplan, D. and Baker, K. (2007). "Removal of chemical and microbiological contaminants from domestic greywater using a recycled vertical flow bioreactor (RVFB)." *Ecological Engineering*, 31(2), 107-114.
- Halalsheh, M., Dalahmeh, S., Sayed, M., Suleiman, W., Shareef, M., Mansour, M. and Safi, M. (2008). "Grey water characteristics and treatment options for rural areas in Jordan." *Bioresource Technology*, 99(14), 6635-6641.
- Li, F., Wichmann, K. and Otterpohl, R. (2009). "Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses." *Science of The Total Environment*, 407(11), 3439-3449.

- Liu, S., Butler, D., Memon, F. A., Makropoulos, C., Avery, L. and Jefferson, B. (2010). "Impacts of residence time during storage on potential of water saving for grey water recycling system." *Water Research*, 44(1), 267-277.
- Materon, H. (1997). *Obras hidráulicas rurales*, Universidad del Valle, Cali-Colombia.
- Romero, C. (1997). *Análisis de las decisiones multicriterio*, Isdefe, Madrid, España.
- Sierra, J. F. (2006). "Tratamiento y reutilización de aguas grises en proyectos de vivienda de interés social a partir de humedales artificiales.," Universidad de los Andes, Bogotá-Colombia.
- Winward, G. P., Avery, L. M., Frazer-Williams, R., Pidou, M., Jeffrey, P., Stephenson, T. and Jefferson, B. (2008). "A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse." *Ecological Engineering*, 32(2), 187-197.
- Zeng, G., Jiang, R., Huang, G., Xu, M. and Li, J. (2007). "Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis." *Journal of Environmental Management*, 82(2), 250-259.



Sustainable Water Improves Tomorrow's Cities' Health - SWITCH Project

Proposal of Solution for the Decontamination and Recuperation of Water Resources in the Municipality of Cali

Appendix 6

Leachate treatment selection process

Table A6.1 Decision Support System Matrix for leachate treatment selection of the Navarro landfill

LEACHATE TREATMENT METHODS	REMOVAL EFFICIENCY (0 -5)							APPROXIMATE ACHIEVABLE EFFLUENT QUALITY						
	COD %	BOD5 %	SS %	AMMONIA %	CHLORIDE %	SULPHATE %	METALS mg/L	COD mg/L	BOD5 mg/L	SS mg/L	AMMONIA mg/L	CHLORIDE mg/L	SULPHATE mg/L	METALS mg/L
PHYSICAL														
Natural Evaporation (7)	1	1	0	2	0	0	3	1400	166	117	510	941	600	8
Filtration (7)	2	2	5	0	0	0	1	1050	125	0	850	941	600	16
Flotation (7)	1	1	2	0	1	0	3	1400	166	70	850	753	600	16
Membrane processes + (ultrafiltration – nanofiltration) (7)	3	1	5	2	2	2	3	700	166	0	510	565	360	4
Reverse osmosis RO+	4	4	5	3	2	2	4	350	42	0	340	565	360	4
Air stripping (7)	2	2	1	4	1	1	0	1050	125	94	170	753	480	20
CHEMICAL														
Coagulation/precipitation/sedimentation (7) (14)	3	2	5	1	1	2	4	700	125	0	680	753	360	4
Chemical oxidation (7)	4	3	0	5	1	0	1	350	83	117	0	753	600	16
Carbon adsorption (12) (7)	3	2	0	2	2	2	1	700	125	117	510	565	360	16
Ion exchange * (7)	2	2	0	3	3	3	4	1050	125	117	340	376	240	4
BIOLOGICAL														
Waste stabilization ponds (13)	4	4	4	3	1	1	1	350	42	23	340	753	480	16
Constructed wetlands (13)	4	4	4,5	3	1	1	2	350	42	12	340	753	480	12
Aerated lagoons (13)	4	4	4	2	1	1	1	350	42	12	340	753	480	12
Leachate recirculation (13)	2	3	3	3	0	0	0	1050	83	47	340	641	600	20
Conventional activated sludge (13)	4	4,5	4,5	4	0	0	0	350	21	12	170	941	600	20
Land treatment (slow rate) (13)	4,5	4,5	4,5	4	1	1	1	175	21	12	170	941	600	20
Activated sludge with extended aeration (13)	4,5	5	4,5	4	0	0	0	175	0	12	170	941	600	20
Membrane bioreactor MBR *	4	5	5	5	3	1	1	350	0	0	0	376	480	16
Sequencing batch reactor SBR (13)	4,5	5	4,5	4	0	0	1	175	0	12	170	941	600	16
Trickling filter TF (13)	3	4	4	2	0	0	0	700	42	23	510	941	600	20
Rotating biological contactors (13)	3	4	4	2	0	0	0	700	42	23	510	941	600	20
Anaerobic treatment process (13)	4	4	4	2	1	1	1	350	42	23	510	753	480	16

Source: Vargas, 2007

Tabla A6.2 Decision Support System Matrix for leachate treatment selection

LEACHATE TREATMENT METHODS	EFFLUENT STANDARD ACHIEVEMENT							All YES	4 first YES	3 last YES
	COD	BOD5	SS	Ammonia	Chloride	Sulphate	Metals			
	YES or NO									
PHYSICAL										
Natural Evaporation	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	0	0
Filtration	NO	NO	YES	NO	NO	NO	NO	0	1	0
Flotation	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	0	0
Membrane processes (ultrafiltration - nanofiltration)	NO	NO	YES	NO	NO	NO	NO	0	0	0
Reverse osmosis RO	YES	YES	YES	NO	NO	NO	YES	0	3	1
Air stripping	NO	NO	NO	YES	NO	NO	NO	0	1	0
CHEMICAL										
Coagulation/precipitation/ sedimentation	NO	NO	YES	NO	NO	NO	YES	0	1	1
Chemical oxidation	YES	NO	NO	YES	NO	NO	NO	0	1	0
Carbon adsorption	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	0	0
Ion exchange	NO	NO	NO	NO	NO	YES	YES	0	0	2
BIOLOGICAL										
Waste stabilization ponds	YES	YES	YES	NO	NO	NO	NO	0	3	0
Constructed wetlands	YES	YES	YES	NO	NO	NO	NO	0	3	0
Aerated lagoons	YES	YES	YES	NO	NO	NO	NO	0	3	0
Leachate recirculation	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0	0	0
Conventional activated sludge	YES	YES	YES	YES	NO	NO	NO	0	4	0
Land treatment (slow rate)	YES	YES	YES	YES	NO	NO	NO	0	4	0
Activated sludge with extended aeration	YES	YES	YES	YES	NO	NO	NO	0	4	0
Membrane Bioreactor MBR	YES	YES	YES	YES	NO	NO	NO	0	4	0
Sequencing batch reactor SBR	YES	YES	YES	YES	NO	NO	NO	0	4	0
Trickling filter TF	NO	YES	YES	NO	NO	NO	NO	0	2	0
Rotating biological contactors	NO	YES	YES	NO	NO	NO	NO	0	2	0
Powdered activated carbon treatment PACT	NO	YES	NO	NO	NO	NO	NO	0	1	0
Anaerobic treatment process	YES	YES	YES	NO	NO	NO	NO	0	3	0

Source: Adapted from Vargas, 2007

Table A6.3 Summary table of leachate treatment technology selection for Navarro landfill

Leachate Strength	Effluent Standards	First Priority	Second Priority		Third Priority		Forth Priority	
		All YES	4 first Yes	3 last Yes	3 of first 4 Yes	2 of last 3 Yes	3 of the first 4 YES	1 of the last 3 YES
Medium	Medium	-	-	-	Waste stabilization ponds	Ion exchange	Waste stabilization ponds	Reverse osmosis
		-	-	-	Constructed wetlands	Ion exchange	Waste stabilization ponds	Coagulation/precipitation/sedimentation
		-	-	-	Aerated lagoons	Ion exchange	Constructed wetlands	Reverse osmosis
					Conventional activated sludge	Ion exchange	Waste stabilization ponds	Constructed wetlands
		-	-	-	Land treatment (slow rate)	Ion exchange	Constructed wetlands	Coagulation/precipitation/sedimentation
		-	-	-	Activated sludge with extended aeration	Ion exchange	Aerated lagoons	Reverse osmosis
		-	-	-	Sequencing batch reactor SBR	Ion exchange	Aerated lagoons	Coagulation/precipitation/sedimentation
		-	-	-	Anaerobic treatment process	Ion exchange	Conventional activated sludge	Reverse osmosis
		-	-	-	Reverse osmosis RO	Ion exchange	Conventional activated sludge	Coagulation/precipitation/sedimentation
		-	-	-	Membrane Bioreactor MBR	Ion exchange	Land treatment (slow rate)	Reverse osmosis
		-	-	-	-	-	Land treatment (slow rate)	Coagulation/precipitation/sedimentation
		-	-	-	-	-	Conventional activated sludge	Reverse osmosis
		-	-	-	-	-	Conventional activated sludge	Coagulation/precipitation/sedimentation
		-	-	-	-	-	Activated sludge with extended aeration	Reverse osmosis
		-	-	-	-	-	Activated sludge with extended aeration	Coagulation/precipitation/sedimentation
		-	-	-	-	-	Sequencing batch reactor SBR	Reverse osmosis
		-	-	-	-	-	Sequencing batch reactor SBR	Coagulation/precipitation/sedimentation
		-	-	-			Anaerobic treatment process	Reverse osmosis

Table A6.4 Multi-criteria analyses: scoring for leachate treatment selection of the Navarro landfill

LEACHATE TREATMENT METHODS	LOCAL CONDITIONS (weight 16)			PROCESSES (weight 29)				ENVIRONMENT & SOCIAL (weight 35)					ECONOMICS (weight 20)			Total
	Climate	Hydro-logy	Land require-ment	Process appl.	Simplicity	Reliability	Treatm. resid.	Soil cont.	Air cont.	Water cont.	Odour/ noise	Social Accept.	Const. cost .	O&M	Sust.	
<i>Weight:</i>	4	8	4	7	9	7	6	8	8	9	4	6	6	7	7	100
PHYSICAL																
Reverse osmosis	5	3	8	5	3	5	4	4	7	4	7	5	5	2	4	451
CHEMICAL																
Coagulation/precipitation/sedimentation	7	7	5	6	6	7	5	5	7	5	7	5	2	5	8	581
Ion exchange	7	3	7	4	6	5	5	5	7	5	7	5	5	4	5	519
BIOLOGICAL																
Waste stabilization ponds	7	7	2	8	8	7	7	7	7	7	7	5	1	8	8	662
Constructed wetlands	7	8	3	6	7	6	7	7	8	7	6	6	3	8	8	666
Aerated lagoons	7	7	3	7	6	7	8	8	7	8	7	5	1	4	6	622
Conventional activated sludge	5	7	5	7	4	7	8	5	7	5	7	5	2	5	7	573
Land treatment (slow rate)	3	3	1	7	7	7	8	7	7	7	7	3	5	6	8	598
Activated sludge with extended aeration	5	7	5	7	4	7	5	5	7	5	7	5	2	3	6	534
Membrane Bioreactor MBR	5	3	7	8	4	5	5	7	7	7	7	3	2	3	5	518
Sequencing batch reactor SBR	5	7	5	7	4	5	5	5	7	5	5	5	3	6	4	525
Anaerobic treatment process	3	5	5	8	6	5	5	5	3	5	5	4	3	5	6	495

Table A6.5 Comparison of leachate treatment technology selection for Navarro landfill

THREE OF THE FOUR FIRST YES + TWO OF THE THREE LAST YES SOLUTIONS (3 rd priority)				
First Technology	Score	Second Technology	Score	TOTAL SCORE
Constructed wetlands	666	Ion exchange	519	1185
Waste stabilization ponds	662	Ion exchange	519	1181
Aerated lagoons	622	Ion exchange	519	1141
Land treatment (slow rate)	598	Ion exchange	519	1117
Conventional activated sludge	573	Ion exchange	519	1092
Activated sludge with extended aeration	534	Ion exchange	519	1053
Sequencing batch reactor (SBR)	525	Ion exchange	519	1044
Membrane bioreactor-MBR	518	Ion exchange	519	1037
Anaerobic treatment process	495	Ion exchange	519	1014
Reverse osmosis RO	451	Ion exchange	519	970
THREE OF THE FOUR FIRST YES + ONE OF THE THREE LAST YES SOLUTIONS (4 th priority)				
First Technology	Score	Second Technology	Score	TOTAL SCORE
Constructed wetlands	666	Coagulation/precipitation/sedimentation	581	1247
Constructed wetlands	666	Reverse osmosis RO	451	1117
Waste stabilization ponds	662	Coagulation/precipitation/sedimentation	581	1243
Waste stabilization ponds	662	Reverse osmosis RO	451	1117
Aerated lagoons	622	Coagulation/precipitation/sedimentation	581	1203
Aerated lagoons	622	Reverse osmosis RO	451	1077
Land treatment (slow rate)	598	Coagulation/precipitation/sedimentation	581	1179
Land treatment (slow rate)	598	Reverse osmosis RO	451	1049
Conventional activated sludge	573	Coagulation/precipitation/sedimentation	581	1154
Conventional activated sludge	573	Reverse osmosis RO	451	1024
Activated sludge with extended aeration	534	Coagulation/precipitation/sedimentation	581	1115
Activated sludge with extended aeration	534	Reverse osmosis RO	451	985
Sequencing batch reactor (SBR)	525	Coagulation/precipitation/sedimentation	581	1106
Sequencing batch reactor (SBR)	525	Reverse osmosis RO	451	976
Membrane bioreactor-MBR	518	Coagulation/precipitation/sedimentation	581	1099
Membrane bioreactor-MBR	518	Reverse osmosis RO	451	969
Anaerobic treatment process	495	Coagulation/precipitation/sedimentation	581	1076
Anaerobic treatment process	495	Reverse osmosis RO	451	946
Reverse osmosis RO	451	Coagulation/precipitation/sedimentation	581	1032
Reverse osmosis RO	451	Reverse osmosis RO	451	902