

# Eficacia del tratamiento de aguas residuales de la Universidad de Costa Rica en la Sede de Occidente, San Ramón, Costa Rica

Edwin Alberto Barrantes Barrantes & Melvin Cartín Nuñez

Universidad de Costa Rica (UCR), San Ramón, Costa Rica; edwin.barrantes@ucr.ac.cr; mervin.cartin@ucr.ac.cr

Recibido 11-XI-2016 • Corregido 25-I-2017 • Aceptado 01-II-2017

**ABSTRACT: Efficacy of wastewater treatment of the University of Costa Rica Western Campus, San Ramón, Costa Rica.** Wastewater treatment aims to ensure that the effluents from domestic and industrial processes are disposed without endangering human health and with the least possible effect on the environment. In Costa Rica, the sewerage system covers only a part of the population (less than 25 %), so that many households, industries, as well as public and private institutions, have their own treatment systems. In this work, we evaluated the efficiency of the wastewater treatment plant at the Universidad de Costa Rica, Sede de Occidente campus (PTAR-SO). This mostly due to an increasing concern that PTAR-SO was not complying with the parameters established by the Costa Rican legislation and it might be polluting the Quebrada El Estero in San Ramón, Costa Rica. For this purpose, effluent quality monitoring was carried out during a period of 12 months. It measured the nine universal parameters for wastewater: Biochemical Oxygen Demand (*BOD*), Chemical Oxygen Demand (*COD*), Fats and Oils (*FyO*), Potential Hydrogen (*pH*), Sedimentary Solids (*S. sed*), Active Substances to Methylene Blue (*ASMB*), temperature (*C°*), Total Suspended Solids (*TSS*) and flow (*Q*). The laboratory results obtained suggests that PTAR-SO wastewater treatment plant operates and complies with the parameters allowed by the binding legislation. Also, when PTAR-SO parameters were compared to those obtained by a more modern treatment plant with maintenance and operation adapting, no significant differences were found among them, with the exception of *S. sed* and *C°*. Therefore, we can conclude that PTAR-SO complies with the parameters established in the national legislation and its effluents are not significantly harming any ecosystem nor the health of people.

**Key words:** Wastewater treatment, quebrada Estero, water quality, universal parameters of discharges.

**RESUMEN:** El tratamiento de aguas residuales tiene por objetivo lograr que los efluentes de los procesos domésticos e industriales sean dispuestos sin peligro para la salud humana y con la menor afectación posible para el ambiente. En Costa Rica el sistema de alcantarillado cubre solamente una parte de la población (menos del 25 %), por lo que muchos hogares, industrias e instituciones públicas y privadas poseen sus propios sistemas de tratamiento. En este trabajo se evaluó la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Sede de Occidente de la Universidad de Costa Rica (PTAR-SO), pues existía la preocupación de que el mismo no estuviera cumpliendo con los parámetros establecidos por la legislación costarricense y con ello se estuviera afectando a la quebrada El Estero en San Ramón, Costa Rica. Durante un período de 12 meses, se llevó a cabo un monitoreo de la calidad del efluente, en el cual se midieron los nueve parámetros universales para las aguas residuales: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Grasas y Aceites (GyA), Potencial Hidrógeno (pH), Sólidos Sedimentables (S.sed), Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM), Temperatura (C°), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y el Caudal (Q). Los resultados obtenidos del laboratorio permiten afirmar que la planta de tratamiento de aguas residuales bajo estudio cumple con los parámetros permitidos por la legislación vinculante. Asimismo, al comparar los valores obtenidos, con los de otra planta de tratamiento, más moderna y con mantenimiento y funcionamiento adecuado, no se hallaron diferencias estadísticamente significativas, excepto en *S.sed* y *C°*. Por lo tanto se concluye que la PTAR-SO cumple con los parámetros establecidos en la legislación nacional, lo cual garantiza que no haya afectación significativa a ningún ecosistema, ni a la salud de las personas.

**Palabras clave:** Tratamiento de aguas residuales, quebrada El Estero, calidad de agua, parámetros universales de vertidos.

Se conocen como aguas residuales (AR), todos aquellos líquidos que han sido usados por el ser humano en procesos industriales, domésticos, comerciales y de servicios. Comúnmente se habla de aguas negras (aquellas que contienen materia fecal) y de aguas grises que son las provienen del uso doméstico (por ejemplo las producidas en la cocina o en los procesos de limpieza). Las

AR quedan cargadas de una serie de contaminantes que pueden afectar al ambiente y en particular a la salud pública (Organización Mundial de la Salud, 1974). Este problema se hace más evidente conforme aumenta el tamaño de los asentamientos humanos, por lo que en las ciudades el tratamiento de las aguas residuales es un tema prioritario.

El tratamiento de aguas residuales se inició en Inglaterra a finales del siglo XIX y principios del XX, para controlar los brotes infecciosos en las principales ciudades de ese país (Ramalho, Beltrán & de Lora, 1990). Su objetivo principal es lograr que los efluentes de los procesos domésticos e industriales sean dispuestos sin peligro para la salud humana y sin mayor daño para el ambiente natural (Gomes, 2009). Esto implica la puesta en práctica de principios de ingeniería, química, física y biología, con el fin de remover la mayor cantidad de contaminantes del agua antes de devolverla al medio ambiente (Ramalho, Beltrán & de Lora, 1990; más información introductoria en Apéndice Digital 1).

En Costa Rica más de 5000 generadores de aguas residuales (Programa Estado de la Nación, 2013). Al no existir un sistema de tratamiento centralizado, algunas empresas e instituciones han optado por contar con sus propias plantas de tratamiento. La Sede de Occidente de la Universidad de Costa Rica, es un ejemplo de ello. El campus ubicado en el cantón de San Ramón, provincia de Alajuela, cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales que funciona desde el momento mismo en que la Sede inició labores en su ubicación actual.

De acuerdo con Solís (2009), la planta de tratamiento de la Sede de Occidente (PTAR-SO) funciona desde el año 1977. Cuenta con un tratamiento primario que consiste en un tanque sedimentador cuya capacidad es de aproximadamente 45 m<sup>3</sup>, en el cual se dan principalmente procesos físicos de remoción de contaminantes, precipitación y flotación. Luego existe un tratamiento secundario, el cual inicialmente consistía en un reactor aeróbico de 90 m<sup>3</sup>, con la capacidad de soportar una afluencia diaria de 2 700 estudiantes. Este reactor mediante la inyección de aire y procesos biológicos remueve la mayor cantidad de contaminantes orgánicos, además el sistema cuenta con un lecho de secados, donde se terminan de deshidratar y estabilizar los lodos generados durante el proceso, brindándole un manejo adecuado a los lodos (Solís, 2009). El tratamiento secundario de la planta como se mencionó anteriormente, en un inicio funcionaba de forma aeróbica, mas debido a problemas de vandalismo (robo de sopladores), en la actualidad funciona como un híbrido entre un Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA) y una laguna facultativa, es decir en el estrato superior opera como una laguna aerobia, pero en el estrato inferior opera como un reactor anaeróbico. (Solís, 2009).

Por razones que no están claras, la PTAR-SO estuvo varios años sin ningún tipo de control ni mantenimiento, lo cual conlleva al sistema a una disminución en la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales. Esto generó preocupación tanto dentro como fuera de la comunidad

universitaria, pues se temía que la planta se estuviera convirtiendo en un foco de contaminación para la quebrada El Estero, cuerpo de agua superficial donde se realiza el desfogue del efluente de la PTAR-SO. Fue así como en el año 2015 se pone en marcha un proyecto de investigación para el monitoreo y control de la calidad de las aguas vertidas por el sistema de tratamiento de la UCR Sede de Occidente (UCR-SO).

En este estudio evaluamos la eficacia del sistema de tratamiento de aguas residuales de la Sede de Occidente de la Universidad de Costa Rica, para determinar si cumple o no con la normativa nacional (Reglamento de vertido y *reuso*<sup>1</sup> de aguas residuales, Decreto N° 33601 MINAE-S). Asimismo, dado que la PTAR-SO se construyó en una época anterior a la promulgación de la normativa vigente, se realizó una comparación con otro sistema de tratamiento en condiciones similares y que funcionara en condiciones óptimas de acuerdo a dicha regulación.

## MÉTODOS

**Ubicación.** La Sede de Occidente de la Universidad de Costa Rica se ubica en el distrito de Alfaro, cantón de San Ramón, provincia de Alajuela, aproximadamente a 59 km al Oeste de la ciudad de San José. La planta de tratamiento está ubicada cerca del límite Oeste del campus universitario (10° 5' 12" N-84° 28' 59" W).

La planta de tratamiento que se utilizó como "modelo de comparación" para efectos de esta investigación, es un sistema de tratamiento de aguas negras de lodos activos (aeróbico), que se encuentra ubicada en la Garita de Alajuela, sobre la carretera Bernardo Soto a 1,5 km al Este del plantel de la Refinadora Costarricense de Petróleo en La Garita, Alajuela, aproximadamente a 32 km al Oeste de la ciudad de San José (10° 00' 08" N-84° 17' 01" W).

**Recolección de datos.** La recolección y análisis de las muestras se llevó a cabo entre los meses de abril de 2015 y marzo de 2016. Para ello se siguió la metodología propuesta en el Reglamento de vertidos y reúso de aguas residuales N° 33601-MINAE-S (2007). Se hicieron muestreos trimestrales en el cabezal de desfogue hacia cuerpo de agua receptor, de tipo compuesto con una duración de 2 h, tomando cada sub-muestra (siete sub-muestras de 500 ml c/u) en lapsos de 17 min. Por el tipo de aguas residuales (aguas negras), se analizaron los nueve parámetros universales establecidos para las aguas residuales

---

1. Así aparece escrito en el reglamento N° 33601.

en el reglamento vigente (MINAE-S, 2007). Los nueve parámetros son: Demanda Bioquímica de Oxígeno (*DBO*), Demanda Química de Oxígeno (*DQO*), Grasas y Aceites (*GyA*), Potencial Hidrógeno (*pH*), Sólidos Sedimentables (*S. sed*), Sustancias Activas al Azul de Metileno (*SAAM*), Temperatura (*C°*), Sólidos Suspendidos Totales (*SST*) y el Caudal (*Q*). Para garantizar la transparencia de los resultados, todos los análisis de laboratorio se realizaron en un laboratorio externo certificado (Agroanálisis de Costa Rica, Cédula jurídica 3-101-248437).

**Análisis estadístico.** Para todas las variables de cada sitio se estimaron el promedio y la desviación estándar. Así mismo para determinar si había diferencias en la eficiencia del tratamiento entre los sitios (San Ramón y La Garita) se aplicó la prueba *t* de student para cada variable ( $H_0$ : no hay diferencias entre los sitios). En aquellos casos donde los grupos presentaron varianzas desiguales (según la prueba *F*), se aplicó la prueba no paramétrica *U* Mann-Whitney. Todas las pruebas se hicieron en la plataforma web de vassarstats.net (Lowry, 2015).

## RESULTADOS

Se encontró que todas las variables medidas en el sistema de tratamiento de aguas residuales de la Sede de Occidente de la Universidad de Costa Rica se encuentran por debajo de los límites máximos o bien dentro de los ámbitos de valores permitidos por la normativa costarricense sobre vertido de aguas residuales (Cuadro 1). Al comparar los valores de la PTAR-SO con los de La Garita, solamente dos parámetros, sólidos sedimentables y temperatura, resultaron estadísticamente diferentes ( $p < 0,01$ ) entre las dos plantas (Cuadro 1). Específicamente en La Garita la cantidad de *Ssed* presentes en el efluente

es significativamente menor que en la PTAR-SO (figura 1). En el caso de la temperatura, en La Garita es mayor que en San Ramón (figura 2). A pesar de las diferencias en estas variables, en ambos lugares los sistemas de tratamiento cumplen con lo determinado en el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, para todos los parámetros.

## DISCUSIÓN

A pesar de las dudas y cuestionamientos de algunos miembros de la comunidad universitaria y vecinos de la Sede de Occidente, la PTAR-SO sí está cumpliendo de manera eficaz con su propósito de remover los agentes contaminantes de las aguas residuales producidas en la Sede. Los resultados de los análisis de laboratorio así lo ratifican, dado que todos los parámetros exigidos por el Reglamento de vertido y reúso de aguas residuales (Decreto N°33601 MINAE-S) estuvieron por debajo de los límites máximos permitidos (*DBO*, *DQO*, *S. sed*, *SST*, *GyA*, *SAAM*) o bien dentro de los ámbitos tolerados (*pH*, *Q* y temperatura). Este resultado es particularmente importante por dos razones: primero, la PTAR-SO fue construida décadas antes de que entrara en vigencia la normativa actual sobre vertidos y segundo, como lo menciona Solís (2009), la planta no se encuentra trabajando de manera óptima, pues el sistema aeróbico de la misma (tratamiento secundario) dejó de funcionar y actúa más bien como un híbrido entre un RAFA y una laguna facultativa.

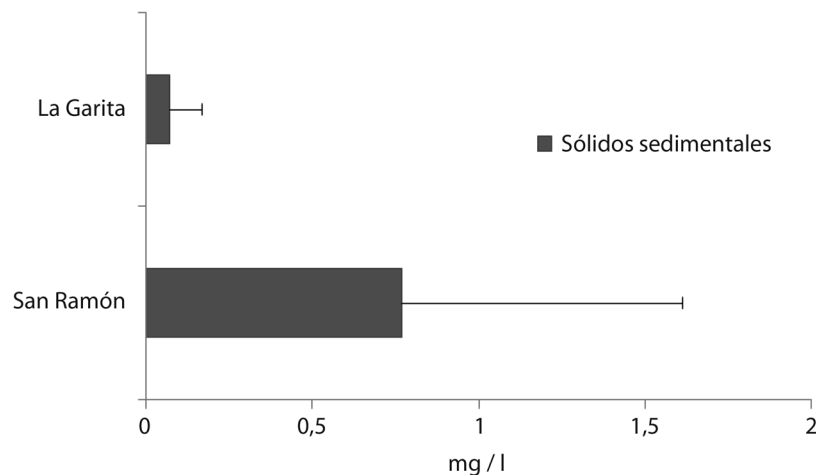
De hecho, contrario a lo que se esperaba, los valores obtenidos para los parámetros medidos en la PTAR-SO no difieren significativamente de los obtenidos en la planta de La Garita (más moderna y con un mantenimiento periódico) a excepción de dos variables: *y* y *t*. De hecho las diferencias en este par de variables son fácilmente

CUADRO 1  
Variables físico-químicas en dos sistemas de tratamiento de aguas residuales, 2015-2016.

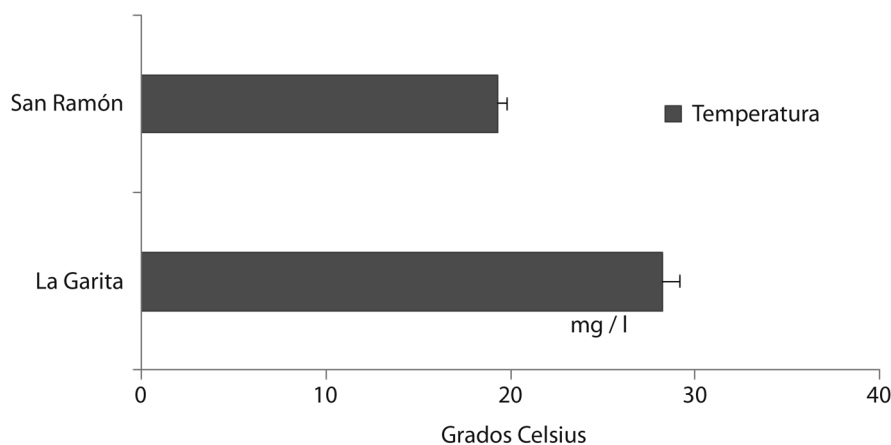
| Variable    | Límite máximo <sup>1</sup> | San Ramón   | La Garita    | Resultado estadístico  |
|-------------|----------------------------|-------------|--------------|------------------------|
| DBO (mg/l)  | 50                         | 31,28±15,21 | 32,60±11,19  | $t=0,16$ ; $p=0,88$    |
| DQO (mg/l)  | 150                        | 87,92±59,06 | 118,58±36,88 | $t=0,96$ ; $p=0,35$    |
| GyA (mg/l)  | 30                         | 24,35±7,89  | 38,06±7,15   | $U=17$ ; $p>0,05$      |
| pH          | 5 a 9 <sup>a</sup>         | 7,57±0,25   | 7,43±0,19    | $t=-1,56$ ; $p=0,133$  |
| Ssed (mg/l) | 1                          | 0,77±0,84   | 0,07±0,09    | $t=-2,89$ ; $p<0,01^*$ |
| SST (mg/l)  | 50                         | 13,15±19,60 | 20,50±20,14  | $t=0,64$ ; $p=0,533$   |
| SAAM (mg/l) | 5                          | 1,09±0,91   | 0,53±0,09    | $U=11$ ; $p>0,05$      |
| T (°C)      | 15 a 40 <sup>a</sup>       | 19,27±0,56  | 28,2±0,99    | $U=0$ ; $p<0,01^*$     |

<sup>1</sup> Según la normativa costarricense para aguas vertidas en un cuerpo receptor (Tabla 4, Decreto N° 33601 MINAE-S) Ámbito de valores permitidos.

\* Diferencias estadísticamente significativas.



**Fig. 1.** Cantidad promedio de sólidos sedimentados presentes en el efluente de dos sistemas de tratamiento de aguas residuales, 2015-2016.



**Fig. 2.** Temperatura promedio del efluente en dos sistemas de tratamiento de aguas residuales, 2015-2016.

explicables: en primer lugar, la PTAR-SO carece de un pre-tratamiento (sedimentador) que remueva la mayoría de sólidos no biodegradables antes de que ingresen al sedimentador primario, así como un mantenimiento preventivo donde se realice la purga de los lodos del sedimentador y del reactor al menos una vez al año, ambas carencias propician un aumento en la cantidad de Ssed en el efluente de la PTAR-SO. En cuanto a la diferencia en el parámetro de temperatura, la misma se puede deber a dos factores, el primero de índole climático, ya que la temperatura promedio de San Ramón, 21,5 °C (Climate-data.org, 2016), es más baja que la temperatura promedio de La Garita, 23,9 °C (Climate-data.org, 2016). El otro factor que puede generar una diferencia en la temperatura se pueden deber a los procesos biológicos intrínsecos

en el método de tratamiento: en La Garita se realiza la inyección de aire al sistema para catalizar los procesos biológicos de degradación de los contaminantes orgánicos, dichos procesos biológicos generan un breve aumento en la temperatura de las aguas tratadas (Centro de las nuevas tecnologías del agua de Sevilla, 2008).

En síntesis, se puede decir que el funcionamiento de la PTAR-SO está muy por encima de lo que podría esperarse de un sistema tan antiguo, que no cuenta con un mantenimiento periódico y que no se encuentra en un estado óptimo de acuerdo al diseño original, es tan bueno el desempeño, que logra inclusive "igualar" la eficiencia de plantas de tratamiento modernas y en mejores condiciones. Por supuesto, la PTAR-SO se puede y se debe mejorar. De acuerdo con Solís (2009), la planta debería

contar con al menos un operario y un profesional o técnico en aguas residuales. Además, se debe corregir el sistema con la construcción de un desarenador, mismo que consiste en una estructura que tiene por objeto separar el agua de la arena y las partículas gruesas en suspensión (Organización Panamericana de la Salud, 2015). Este vendría a resolver en gran medida la problemática de sólidos, principalmente inorgánicos, que ingresan al sistema y que generan una pérdida en la eficiencia del proceso. También se recomienda la construcción de un tanque de recirculación de los lixiviados del lecho de secado, dicho tanque tiene como fin el recoger, almacenar y bombear hacia el sedimentador primario los lixiviados que se generan del lecho de secado. Además se debería ofrecer un control periódico, tanto en la parte preventiva como en la correctiva, para asegurar el funcionamiento óptimo del sistema durante el mayor tiempo posible. Finalmente, gracias a este trabajo se puede afirmar que la quebrada El Estero no se está viendo afectada más allá de los parámetros aceptados por la legislación nacional, con lo cual ni la salud de las personas ni la del ambiente se están viendo amenazadas.

## AGRADECIMIENTOS

A la Vicerrectoría de Investigación (proyecto 540-B5-027), a la Sede de Occidente de la Universidad de Costa Rica y a don Jorge Arias Bogantes representante legal de la Planta de Tratamiento de La Garita.

## REFERENCIAS

- Angulo, F. (2013). *Manejo, disposición y desecho de las aguas residuales en Costa Rica. Informe final*. Decimonoveno informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. San José, Costa Rica. Programa Estado de la Nación.
- Centro de las nuevas tecnologías del agua de Sevilla (CENTA). (2008). *Monográficos Agua en Centroamérica [3]: Manual de depuración de aguas residuales y urbanas*. Zaragoza, España. Ideasmares. Recuperado de <http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>
- Climate-data.org. (2016). *Clima: La Garita*. Recuperado de <http://es.climate-data.org/location/44413/>.
- Climate-data.org. (2016). *Clima: San Ramón*. Recuperado de <http://es.climate-data.org/location/28851/>.
- Decreto N° 33601 MINAE-S. Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales. *La Gaceta*, 55(Alcance 8). San José, Costa Rica, 19 de marzo de 2007.

- Días-Báez, M., Espitia, S. & Molina, F. (2002). *Digestión Anaerobia una Aproximación a la Tecnología*. Bogotá, Colombia. UNIBIBLIOS.
- Galvis, A., Cardona, D. A., & Bernal, D. P. (2005). Modelo conceptual de selección de tecnología para el control de contaminación por aguas residuales domesticas en localidades colombianas menores de 30.000 habitantes, SELTAR. *Conferencia Internacional: De la Acción Local a las Metas Globales*. Recuperado de [http://objetos.univalle.edu.co/files/Modelo\\_conceptual\\_de\\_seleccion\\_de\\_tecnologia\\_para\\_control\\_de\\_contaminacion.pdf](http://objetos.univalle.edu.co/files/Modelo_conceptual_de_seleccion_de_tecnologia_para_control_de_contaminacion.pdf)
- Gomes, K. (2009). *Wastewater Management*. Yaipur, Indonesia. Oxford Book Co. Recuperado de <http://www.ebrary.com>
- Lowry, R. (2015). *VassarStats.net: Website for Statistical Computation*. Recuperado de [vassarstats.net](http://vassarstats.net)
- Municipalidad de San Ramón. (2016). *Municipalidad de San Ramón. República de Costa Rica*. Recuperado de <http://www.sanramon.cr/msr/>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (1974). *Servicios públicos de evacuación de aguas residuales. Informe N° 541*. Ginebra. Organización Mundial de la Salud.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2015). *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores*. Washington. OPS.
- Osorio, J. R., Canepa, J. R. L., & Paz, R. C. D. (2014). Caracterización y propuesta de tratamiento de las aguas residuales generadas en la División Académica de Ciencias Biológicas-UJAT. *Kuxulkab'*, 17(32), 61-70.
- Presidencia de la República de Costa Rica. (2015, Setiembre 11). *Costa Rica cuenta con la planta de tratamiento más grande de Centroamérica*. Presidencia de la República de Costa Rica. Recuperado de <http://presidencia.go.cr/prensa/comunicados/costa-rica-cuenta-con-la-planta-de-tratamiento-mas-grande-de-centroamerica/>
- Programa Estado de la Nación. (2013). *Decimonoveno Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible*. San José, Costa Rica. Programa Estado de la Nación. Recuperado de <http://estadonacion.or.cr/index-en/informe-xix-estado-nacion>
- Ramalho, R. S., Beltrán, D. J., & de Lora, F. (1990). *Tratamiento de aguas residuales*. Barcelona. Reverté.
- Ruiz, F. (2012). *Gestión de las excretas y aguas residuales en Costa Rica. Situación actual y perspectiva*. San José, Costa Rica. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.
- Solís, J. (2009). *Lineamientos básicos en la operación de la Planta de tratamiento de aguas negras UCR, Sede de Occidente*. Informe de Asistencia Técnica. Naranjo, Costa Rica. Instituto Nacional de Aprendizaje.

