**AGROCENTRO 2019**

IX Simposio de Ingeniería Agrícola

**Título**

Utilización del modelo de Márkov para racionalizar el complejo cosecha-transporte de la caña de azúcar.

***Title***

*Use of the Márkov model to rationalize the harvest-transportation complex of the sugar cane*

**Nombre y Apellidos1, Nombre y Apellidos2, …**

MsC. Yanara Rodríguez López[[1]](#footnote-1).

Ing. Claudia Cruz Arredondo:[[2]](#footnote-2)

DrC Yanoy Morejón Mesa. [[3]](#footnote-3)

**Resumen:**

La presente investigación se realizó en la Unidad Empresarial de Base Héctor Molina Riaño, con el objetivo de determinar la estructura racional del complejo cosecha-transporte de la caña de azúcar a través del modelo de Márkov. La evaluación tecnológica y de explotación de la cosechadora CASE IH AUSTOFT A 8800 tuvo una productividad en el tiempo limpio, operativo, productivo y de explotación de 38,08; 32,7; 26,62 y 23,69 t/h respectivamente, siendo el gasto directo de explotación para la cosecha de 63,14 pesos/h y 2,64 pesos/t. La productividad teórica del medio de transporte HOWO SINOTRUK con dos (2) remolques fue de 12,14 t/h mientras que la productividad real fue de 11,65 t/h, siendo el tiempo de ciclo de 4,94 h para un campo con un rendimiento de 22,8 t/ha y el gasto de explotación del transporte fue de 34,87 pesos/h y 1,88 pesos/t. Mediante el modelo de Márkov se obtuvo que para un campo con un rendimiento 22,8 t/ha la brigada quedará conformada por dos (2) cosechadoras (con un 16,37% de probabilidad de que se rompa uno (1)) y dos (2) medios de transporte (con un 4,7% de probabilidad de que se rompa uno (1)) ya que la probabilidad de que la cosechadora espere por medios de transportes externos es casi nula, siendo el gasto por parada del ciclo (cosecha-transporte-recepción) de 10,73 peso/h.

***Abstract****:*

*The present investigation was carried out in the Héctor Molina Riaño Base Business Unit, with the objective of determining the rational structure of the harvest-transport complex of sugarcane through the Markov model. The technological and exploitation evaluation of the CASE IH AUSTOFT A 8800 harvester had a productivity in clean, operational, productive and exploitation time of 38.08; 32.7; 26.62 and 23.69 t / h respectively, with direct operating expenses for the harvest of 63.14 pesos / h and 2.64 pesos / t. The theoretical productivity of HOWO SINOTRUK transport medium with two (2) trailers was 12.14 t / h while the real productivity was 11.65 t / h, with the cycle time of 4.94 h for one field with a yield of 22.8 t / ha and the transportation operating cost was 34.87 pesos / h and 1.88 pesos / t. The Markov model showed that for a field with a yield of 22.8 t / ha, the brigade will consist of two (2) harvesters (with a 16.37% probability of breaking one (1)) and two (2) means of transport (with a 4.7% probability of breaking one (1)) since the probability that the harvester waits by means of external transport is almost nil, with the cost per cycle stop ( harvest-transport-reception) of 10.73 weight / h.*

Palabras Claves: Estabilidad, Matriz, Transición, Costos, Paradas

*Keywords: stability, Matrix, Transition, Costs, Stops*

**1. Introducción**

El cultivo de la caña y la producción de azúcar constituyen en Cuba el principal renglón exportable, han sido desde el mismo nacimiento de la nación cubana, base de su economía y un elemento significativamente vinculado a su desarrollo social, a su cultura y sus tradiciones (Varela, 2007a), (Manso, 2008).

Este cultivo se introdujo en Cuba en 1511 y ya en el siglo XIX se producían anualmente un millón de toneladas de azúcar. Antes que triunfara la Revolución en el año 1959 se producían 6 millones y en la zafra del 1970 se produjeron 8,5 millones. Sin embargo, tras la desintegración de la URSS y la caída del campo socialista en la década del 90 del siglo XX, se ha producido un decrecimiento en sus rendimientos agrícolas fundamentalmente en la agricultura cañera de 51,4 t/ha alcanzadas en los años del 86-90 a 33 t/ha en el año 2007 (De la Peña, 2007), donde en el sector azucarero surgieron grandes transformaciones e inversiones, para intervenir en el aumento de los rendimientos agrícolas y la diversificación de la producción.

El desarrollo de los distintos procesos mecanizados que intervienen en la producción de azúcar, tiene como objetivo aumentar la productividad y humanizar el trabajo en el sector azucarero. Una vía para garantizar una producción en gran magnitud de este sector, es elevar la eficiencia de la maquinaria, a través de modelos y proyectos cada día más fiables y competitivos (Lebeque, 1997, Sánchez et al., 1993 y Zaldívar y Pupo, 1990).

Sobre la influencia de algunos aspectos agrícolas e industriales en la economía, es necesario considerar la influencia que tiene el proceso de cosecha-transporte en la calidad de la materia prima antes de ser procesada industrialmente; evidenciándose que aunque el proceso cosecha-transporte no constituye un elemento que influye en el proceso de producción tanto de la caña, como de azúcar en sí, si determina la economía del proceso productivo, pues este proceso se desarrolla con el empleo de un conjunto de medios técnicos entre los que se pueden citar las cosechadoras y los medios de transporte (tractores y/o camiones con carretas o remolques), los cuales, sino son racionalmente organizados influyen negativamente en los costos totales de producción.

La introducción de máquinas más potentes y fiables, son pasos importantes para lograr que la industria azucarera mantenga un papel protagónico en la economía del país. Como consecuencia del vertiginoso desarrollo de la industria azucarera, se ha continuado el perfeccionamiento de los sistemas de equipos, específicamente en las cosechadoras de caña. Para lograr este objetivo se hace indispensable realizar investigaciones de laboratorio y de campo que permitan concebir máquinas que proporcionen mejores prestaciones para la cosecha de caña de azúcar. Los estudios integrales de evaluaciones sobre las máquinas en desarrollo evitan que los errores se generalicen, así como la disminución de los gastos y la corrección de posibles deficiencias de diseño. Las máquinas cosechadoras de caña de azúcar han sido sometidas a diversas evaluaciones con vistas a elevar su eficiencia, confort y reducir los costos de producción (Mejias et al., 2015).

En la UEB Atención a Productores Cañeros “Héctor Molina Riaño” han surgido problemas industriales, organizativos y productivos. Por lo que el proceso cosecha- transporte puede estar afectado por la composición racional de la brigada cosecha- transporte, disminuyendo la estabilidad del flujo del proceso tecnológico y sus costos

Por tal razón surge la necesidad de investigar la composición racional del complejo cosecha-transporte de la caña de azúcar en la Unidad Empresarial de Base (UEB) “Héctor Molina Riaño”, con el propósito de lograr una mayor estabilidad y obtener ventajas económicas en el mismo. Por lo anterior planteado la presente investigación tiene como objeto de estudio: Complejo cosecha-transporte de la caña de azúcar.

Teniéndose como problema científico: Deficiente organización del complejo de máquinas que intervienen en el proceso de cosecha-transporte de la caña de azúcar, lo cual propicia elevadas pérdidas económicas y de tiempo productivo.

Para la solución del problema científico planteado se formula la siguiente Hipótesis: A través del modelo de Márkov es posible racionalizar la estructura del complejo cosecha-transporte de la caña de azúcar, propiciando un efecto económico y tecnológico positivo.

Objetivo: Determinar la estructura racional del complejo cosecha-transporte de la caña de azúcar a través del modelo de Márkov.

**2. Metodología**

Para la determinación de los parámetros necesarios para calcular los índices tecnológicos y de explotación, se parte del fotocronometraje, que no es más que el registro en un orden cronológico de todas la operaciones y los elementos del tiempo de trabajo de la máquina, especificándose los datos sobre la organización de los ensayos, durante su ejecución, los componentes del agregado, el régimen de trabajo de la máquina, las características del cultivo que se elabora o procesa, los materiales, el gasto de combustible, el volumen de trabajo realizado, los gastos de aceite y grasa, los materiales auxiliares, la cantidad de personal de servicio y otros datos vinculados con la prueba de cada tipo de máquina (NC-34-37:2003). La información antes relacionada posibilita valorar la estabilidad de la capacidad de trabajo de las cosechadoras. Para ello se considera la metodología planteada en la NC-34-37:2003 y modificada especialmente para la realización de pruebas a cosechadoras cañeras por Rodríguez et al., 2013 y generalizada por AZCUBA en el 2014. Luego de obtener los valores del comportamiento del tiempo se procede a la determinación de los índices tecnológicos y de explotación.

**Cosechadora.**

1. Método para la ejecución del cronometraje.

Los datos obtenidos del fotocronometraje se anotan en un modelo en orden cronológico, todas las operaciones y los elementos del tiempo de trabajo de la máquina y se especifican los datos sobre la organización de las pruebas, las condiciones existentes durante su ejecución, etc. Es importante enumerar todos los remolques o transportes de prueba de forma consecutiva y tararla, pues estos se reflejan en las cronocartas una vez que haya sido cargada, además de servir como medio de control al recibirse la producción cosechada por la cosechadora.

1. Coeficiente de disponibilidad técnica: Kd

Considerando las definiciones generales del concepto de la disponibilidad o del coeficiente de la disponibilidad, varios autores la clasifican por tipos de dependencia del objetivo del estudio y la información disponible. La forma más básica de definir la disponibilidad matemáticamente en la industria y en la agricultura es la siguiente:

(1)

donde:

T0- tiempo total (trabajo útil) de operación en condiciones de diseño, h;

TJ -tiempo total de parada por problemas técnicos, h.

A partir de la expresión (1) se puede concluir que para aumentar la disponibilidad de un sistema o equipo es necesario:

* Aumentar el trabajo útil de operación, expresado por el T0;
* Reducir el tiempo de paradas por problemas técnicos, expresado por el TJ;
* Aumentar el T0 y reducir el TJ simultáneamente.

Por lo tanto, las propiedades de la fiabilidad más importantes que afectan la disponibilidad de la máquina o equipo son el trabajo sin fallo y mantenibilidad. Estas son las propiedades que se incorporan en las fases de diseño y fabricación y después se manifiestan durante la explotación, dependiendo en alto grado del trabajo de mantenimiento.

En el anexo 1 figura 1 se muestra la interrelación de estas tres características: fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, conocida como (FMD), dando como resultado el valor del coeficiente de disponibilidad. Dependiendo de la naturaleza de requisitos del sistema (máquina), el diseñador puede alterar los niveles de disponibilidad, fiabilidad y mantenibilidad, de esta forma al disminuir el costo total del ciclo de vida. Se debe actuar prioritariamente sobre la mantenibilidad para aumentar la disponibilidad y lograr que el coeficiente de disponibilidad oscile entre 0,90 y 0,95, según Mesa (2006); Shkiliova (2006).

### **Medios de transporte.**

La importancia que tienen los índices de explotación es que permiten escoger el transporte adecuado para las condiciones de explotación determinadas; hacer cálculos de explotación (normas de rendimiento, del gasto de combustible, del costo propio de las operaciones de transporte) organizar correctamente los trabajos de transporte, proyectar las empresas de explotación y reparación (garajes, centros de servicios, talleres, puestos de carga y descarga, etc) por solo mencionar los más evidentes.

El trabajo útil de una unidad de transporte depende del tiempo que se gaste en el trabajo útil durante el turno, de la velocidad de movimiento, de la carga de la unidad y del recorrido que se realice con esta carga, lo cual, a su vez, depende de las cualidades de explotación de los medios de transporte, de las condiciones del camino, del carácter de la carga, de las distancias de transporte, de la organización de los trabajos de carga y descarga, del manejo correcto de la unidad en el camino y el mantenimiento.

Los índices que caracterizan la utilización de las diferentes unidades de transporte son:

* El aprovechamiento del tiempo de trabajo
* La velocidad del movimiento
* El aprovechamiento del recorrido
* La capacidad de carga
* La productividad del medio de transporte

Aprovechamiento del tiempo de trabajo

El coeficiente de utilización del tiempo de trabajo (expresión 5) representa la relación entre el tiempo real de trabajo (Tr) y el tiempo de turno (TT)

 (5)

Este coeficiente indica la parte que representan los gastos de tiempo en la carga y descarga y en las paradas durante el turno.

Velocidad de explotación**:** Esta velocidad representa la relación de la distancia recorrida al tiempo total en transcurso del cual la unidad estuvo cumpliendo orden de trabajo, como se muestra en la expresión 6.

 km/h (6)

Donde:

L: distancia recorrida, km

Tt: tiempo total de trabajo; h

Coeficiente de utilización del recorrido es la relación entre el camino recorrido con carga y el recorrido total (expresión 7)

 (7)

donde:

Lcar: distancia recorrida con carga, km

Ltot: distancia recorrido total, km

Coeficiente de utilización de la capacidad de carga estática: como se muestra en la expresión 8 es la relación entre la cantidad de carga realmente transportada y la cantidad de carga que se puede transportar si se aprovecha totalmente la capacidad nominal de carga del medio de transporte

 (8)

donde:

q- capacidad nominal de carga, t

Z- número de trayectorias

Qr: carga real, t

Qm: carga nominal, t

Siendo el mismo coeficiente de la capacidad de carga, puede ser distinto el grado de utilización de la unidad de transporte en dependencia de las distancias de transporte.

* Determinación de la productividad (Wt) y aprovechamiento de la capacidad de carga de los medios de transporte.

La productividad de los medios de transporte se determina por la cantidad de t-h o t transportadas por unidad de tiempo. La determinación de la productividad teórica o máxima posible de los medios de transporte (Wtt) se calcula por medio de la expresión 9:

, t/h (9)

donde:

qn – capacidad nominal de carga del medio de transporte dado por el fabricante, t.

Así también, la productividad real de los medios de transporte (Wr), está determinada por la expresión 10:

,t/h (10)

donde:

qr- cantidad de carga realmente transportada por el camión, t;

Kuec- coeficiente de utilización estática de la capacidad de carga del medio de transporte;

Tc: tiempo de ciclo, h

### **Tiempos de ciclo del proceso cosecha-transporte-recepción de la caña de azúcar.**

En el proceso cosecha-transporte de la caña de azúcar se utiliza la ruta pendular la cual se compone de dos trayectos (recorrido con carga hacia el centro de recepción y recorrido vacío hacia el campo) (Goberman, 1975). Durante el movimiento del medio de transporte desde el campo en cosecha hasta el centro de recepción y de retorno es consumido un tiempo, al que se denomina tiempo de ciclo. En forma condensada este se determina a través de la expresión 11:

, h (11)

donde:

tll- tiempo de llenado del medio de transporte por el autobasculante, h;

tr– tiempo de recorridos desde el campo en cosecha al centro de recepción y viceversa, h;

te- tiempo de estancia en el centro de recepción para la descarga de la caña de azúcar, h.

Para el análisis del tiempo de ciclo, es necesario conocer sus componentes y determinar la esperanza matemática de cada uno, con el objetivo de modelar el mismo en las distintas organizaciones del proceso de cosecha, de las condiciones técnicas, agrotécnicas y de explotación.

El tiempo de llenado del medio de transporte por la cosechadora (tllMT), se puede determinar por la expresión 12:

 ,h (12)

donde:

- tiempo de espera del llenado del autobasculante, h;

trab- tiempo de recorrido del autobasculante con carga y sin carga; h

tdab- tiempo de descarga del autobasculante al medio de transporte, h;

Nab/MT número de autobasculantes que caben en el medio de transporte;

Conformación del medio de transporte.

El tiempo de recorrido del autobasculante (trab), en el campo en cosecha se determina por la expresión 13:

, h (13)

donde:

Sc– longitud promedio del campo en cosecha, km;

Velocidad media de recorrido del autobasculante dentro del campo, km/h

La velocidad de recorrido del autobasculante con carga (Vrccc) y vacío (Vrcv), desde el corte de la caña en la parcela hasta el medio de transporte y viceversa se obtiene a partir de las expresiones 14 y 15:

; , km/h (14 y 15)

donde:

nrcci,nrvi– número de recorridos con carga y vacío, respectivamente;

tcci, tvi – tiempo con carga y vacío, respectivamente, h;

nm- número de mediciones.

Considerando, que la diferencia de las velocidades de recorrido del autobasculante es mínima, puesto que la posibilidad técnica de la máquina no define la velocidad, sino las condiciones del relieve del campo, se determina la velocidad mediaa través de la expresión 16:

, km/h (16)

El tiempo de recorrido del autobasculante en el campo (trab), se determina por la expresión 17:

,h (17)

El tiempo de recorridos (tr) por los medios de transporte, desde el campo en cosecha hasta el central y viceversa, se determina por la expresión 18

, h (18)

donde:

trcct- tiempo de recorrido con carga en terraplén, h;

trcca- tiempo de recorrido con carga en asfalto, h;

trvt- tiempo de recorrido vacío en terraplén., h;

trva- tiempo de recorrido vacío en asfalto, h.

El tiempo de los recorridos tanto con carga en terraplén (trcct), en asfalto (trcca), así como en vacío en ambas condiciones (trvt, trva), se puede obtener por las expresiones 19 a 22:

, h; , h ; , h ; , h ( 19, 20, 21 y 22)

donde:

Scct, Scca- distancia recorrida por el transporte con carga en terraplén y asfalto respectivamente, km;

Vcct, Vcca- Velocidad media del transporte con carga en terraplén y asfalto, km/h;

Svt, Sva- distancia recorrida por el transporte vacío en terraplén y asfalto, km;

Vvt, Vva- Velocidad media del transporte vacío en terraplén y asfalto, km/h.

El tiempo de estancia del medio de transporte en el Central (te) se obtiene mediante la sumatoria de los tiempos específicos que ocurren en el proceso de recepción, es decir:

, h (23)

donde:

tecc, ted – tiempo de espera con carga, de espera para la descarga, respectivamente, h;

tdc– tiempo de descarga de la caña, h;

tpcc– tiempo de pesaje con carga, h.

* El tiempo de ciclose obtiene de la sumatoria de todos los componentes o tiempos que lo conforman, como se muestra en la expresión 2.51:

, h (24)

## **Metodología para la evaluación económica del proceso.**

1. Costos directos de explotación en peso por hora (Gdeh) y en peso por tonelada (Gdet).

, peso/h (25)

, peso/t (26)

Donde:

Gsh - Costo de salario directo a la cosecha y transporte, peso/h;

Gah - Costo de amortización de los equipos peso/h;

Gch - Costo de combustibles, piezas y lubricantes peso/h;

Gmrh - Costo de mantenimiento y reparación de la máquina peso/h;

Gst - Costos de salarios directos a la cosecha y transporte, peso/t;

Gat - Costos de amortización de los equipos, peso/t;

Gct - Costos de combustibles, piezas y lubricantes, peso/t;

Gmrt - Costos de mantenimiento y reparación de la máquina, peso/t.

, peso/h (27)

, peso/t (28)

donde:

Salm - Salario de la máquina en la zafra, peso

, peso/h (29)

, peso (30)

Donde:

B - Precio de la máquina, peso.

a - Tasa de amortización.

M - Valor de la modificación, peso.

Dt - Días totales trabajados de la máquina en diferentes condiciones.

1. Amortización de la máquina en la zafra.

, peso/h (31)

Donde:

Gad -Amortización diaria por máquina, peso/dia

, peso/t (32)

, peso/h (33)

, peso/t (34)

Donde:

Ccm - Consumo de combustible y lubricante de la máquina en prueba, peso.

1. Consumo diario de combustible y lubricante.

, l/h (35)

Donde:

Cc - Consumo total de combustible y lubricante en diferentes condiciones, L.

, peso/h (36)

Donde:

Gmrtcd - Costos diarios de mantenimiento y reparación de la cosechadora, peso

, peso (37)

donde:

Grt - Costo de reparación en el taller, peso;

Gmc - Costo de mantenimiento en el campo, peso.

1. Costo de mantenimiento y reparación de la máquina en el taller y en el campo durante la zafra.

, peso (38)

, peso/t (39)

Donde:

Q - Volumen de producción diario.

, t (40)

## **Modelo de Márkov para racionalización de la brigada cosecha - transporte.**

Para el análisis de la estructura racional del complejo cosecha-transporte de la caña de azúcar empleando el modelo de Márkov, se parte de que es un proceso estocástico, pues varía en el tiempode una manera probabilística, lo cual no es más que una sucesión de observaciones y los valores de estas no se pueden predecir exactamente. Para dicho modelo se tiene en cuenta que los estados que forman el proceso son: caña de azúcar en cosecha Ec, caña de azúcar en transporte E**t** y caña de azúcar en el centro de recepción Er y la cantidad de medios de transporte necesarios se obtiene por el método determinista y se combina con los criterios de probabilidad de transición provenientes de la matriz elaborada.

Con el objetivo de formar la matriz de transición se debe determinar la probabilidad de transición o no transición de un estado a otro a través de las tabla de Poisson, para esto se tienen las observaciones realizadas a la cola de los camiones en el central y se determina la esperanza matemática para la cosecha c y el transporte t (expresión 41 y 42).

Para la cosecha se determina a partir del coeficiente de disponibilidad técnica de la misma:

(41)

donde:

- número de cosechadoras;

Para el transporte se tiene en cuenta además de la disponibilidad técnica de los mismos:

(42)

donde:

- número de camiones;

Teniendo c,t, y K (número de camiones a observar) para la cosechadora y el transportese pueden determinar las probabilidades de transición a través de las tabla de Poisson .

Para determinar la probabilidad de transición (Pt) y no transición (Pnt) del central se hicieron 15 observaciones que se promediaron determinando el número de camiones en espera para entregar el producto (ncer) y el total de camiones en el centro de recepción (ntr);

(43)

Teniendo en cuenta las probabilidades de no transición se puede obtener las probabilidades de transición:

(44)

Mediante lo antes expuesto se puede determinar la matriz de transición de un estado a otro:

(45)

Basado en el análisis anteriormente realizado se puede obtener una estimación de la afectación económica por la rotura del ciclo Cpet a parir de la determinación de los costos por paradas en cada elemento del ciclo y la probabilidad de que no se transite de un estado a otro del mismo.

(46)

donde:

Cpc, pt y Pcr- costo por parada en la cosecha, transporte y centro de recepción del central respectivamente; peso/h

Con los Costos directos de explotación se pueden determinar los costos por parada de la cosechadora y del transporte:

, peso/h (47)

donde:

Cexp –Costos de explotación, peso/h; Cdc -Costo de depreciación de la cosechadora, peso/h; Cc -Costo del combustible consumido, peso/h; Cl -Costo del lubricante consumido, peso/h; Cmr -Costo de las operaciones de mantenimiento y reparación, peso/h; Csoc -Costo en salario del operador de la cosechadora, peso/h.

De igual forma se puede determinar el costo del tiempo de parada de los medios de transporte, empleándose la expresión 48:

, peso/h (48)

donde:

Cdt - Costo de depreciación del medio de transporte, peso/h; Cmr -Costo de las operaciones de mantenimiento y reparación, peso/h; Csot -Costo en salario del operador del medio de transporte, peso/h.

En cuanto a los costos por paradas en el centro de recepción se tienen en cuenta el salario de los trabajadores vinculados al proceso, los combustibles y lubricantes consumidos en el proceso, así como los mantenimientos y la corriente como se muestra en la expresión 49

, peso/h (49)

donde:

Ce-costo por consumo de corriente eléctrica, peso/h

**3. Resultados y discusión**

## **Evaluación de los índices técnicos y de explotación del complejo cosecha-transporte.**

La evaluación de los índices técnicos y de explotación del complejo cosecha-transporte se basa en el análisis del comportamiento de los mismos en la cosecha y el transporte, tomándose las mediciones para la cosecha referidas al uso del tiempo por la cosechadora así como el consumo de combustible y el volumen de producción. Para determinar los indicadores en el transporte se realizan las mediciones de tiempo a los medios de transporte intermedio o tractores movedores y los que mueven la caña desde el campo hasta el central, o sea, los camiones.

### **Evaluación de los índices técnicos y de explotación de las cosechadoras.**

La evaluación de la cosechadora de caña CASE IH AUSTOFT A 8800 se realizó en un campo con rendimiento agrícola de 22,8 t/ha en un período de observación total de 28,77 h. Como se explica anteriormente se tomó como base la norma NC: 34-37, 2003. A partir del análisis de los tiempos tecnológicos tomados durante el fotocronometraje (Anexo 2 figura 2) se pudo evaluar y comparar los tiempos de mayor influencia en el proceso, se determinó el tiempo limpio (T1) que fue de 14,68 h el cual representa el 51% del tiempo total, al comparar estos resultados con la investigación realizada por Rodríguez (2015) en áreas de la misma empresa y trabajando el mismo pelotón de caña con esas cosechadoras se nota un aumento (T1 es 30 % del tiempo total) influyendo en esta la experiencia que han obtenido los operadores de una zafra a otra y la estabilidad de los medios de transporte intermedios y hasta el central. El tiempo auxiliar (T2) fue de 2,41 h (8% del tiempo total) obteniéndose mejor resultado que lo evaluado por Rodríguez (2015), de que obtuvo un valor de 3,03 h para este caso hubo mejor aprovechamiento de los tiempos de viraje y menos pérdida de tiempo por paradas tecnológicas dado a la experiencia que poseen los operadores con estas máquinas y mejores condiciones para las labores de mecanización que poseen las áreas a cosechar.

El tiempo de mantenimiento diario de la máquina (T3) fue de 2,7 h (9% del tiempo total) influyendo sobre este la falta de recursos para la realización del mantenimiento aspecto negativo para las cosechadoras ya que se deterioran más rápido afectando su capacidad de trabajo, este elemento en la investigación realizada por Álvarez, 2015 y Rodríguez, 2015 alcanzó un valor de 22%, los autores plantean que al no haber suficientes medios de transportes los operadores no optimizaban el tiempo. Alvares y Rodríguez además obtuvieron 3,55 h (6,3%) para el tiempo de eliminación de fallas (T4) superior al 4% (1,20 h) emanado de la presente investigación lo que está amparado por la adquisición de experiencia en el trabajo con esta tecnología.

El tiempo de paradas por causas ajenas de las máquinas en prueba T8 fue de 1,88 h (7% del tiempo total de la observación) mejor que el resultado obtenido por Rodríguez, 2015 que fue de 18,49 h equivalente al 33%, minimizándose los problemas que había y se cita: …*la existencia de áreas sin condiciones para la mecanización, la humedad en los campos cañeros a cosechar, falta de medios de transporte y tractor movedor, escasez de materiales y medios para realizar el servicio técnico. Presentando insuficiencias organizativas de la jornada laboral, las cuales se encuentran fundamentalmente en la deficiente gestión para la solución de las fallas técnicas y la espera por medio de transporte…* por lo que positivamente influyó la estabilidad de los medios de transporte para la cosechadora de caña, se mantiene como elemento negativo la mala organización y planificación en el trabajo, el complejo cosecha conformado por dos (2) cosechadoras CASE IH AUTOSOFT A 8800 trabajaban juntas en cada campo y surco, interrumpiéndose constantemente y provocando paradas innecesarias y perdidas de tiempos cuantiosas, situación que se le ha planteado a la dirección del pelotón y la empresa y se mantiene afectando el trabajo de las máquinas

Partiendo del tiempo total cronometrado y analizando en el anexo 2 figura 2, se pude realizar una evaluación de los parámetros que se muestran en el anexo 2 tabla 1, para el rendimiento (U) 22,8 t/ha y el volumen de trabajo realizado (Q) 559 t se determinó una productividad en función del tiempo limpio (W1) de 38,08 t/h siendo la de mayor valor mientras que la menor productividad fue la determinada por el tiempo de explotación (W07) de 23,69 t/h. La productividad por tiempo operativo (W02) fue de 26,62 t/h determinada por el tiempo en que la cosechadora está operando (T02 =17,09 h), mientras que la productividad del tiempo productivo (W04) determinada por el tiempo productivo (T04= 20,99 h) fue de 26,62 t/h.

Al comparar los valores de productividad con los obtenidos porRodríguez (2015) para un rendimiento de 70 a 90 t/ha y un volumen de trabajo realizado de 532 t se nota un aumento en los valores influyendo en esta el mejor aprovechamiento de los tiempos, la experiencia que han obtenido los operadores, la capacidad de trabajo de la cosechadora de caña y los transportes, así como la sustentabilidad de los medios de transporte para la cosechadora de caña.

En cuanto a los coeficientes de explotación se obtuvo que el coeficiente de pases de trabajo (K21) fue de 0,89 ya que existió un mejor aprovechamiento del tiempo de viraje debido a las mejoras de preparación de los campos pero todavía no cumpliendo las condiciones ideales para la cosecha, el coeficiente de mantenimiento técnico (K3) fue de 0,84 influenciado por los mantenimientos técnicos que se daban rápidos por la falta de recursos pero no conveniente para la cosechadora ya que dificulta su capacidad de trabajo. El coeficiente de seguridad tecnológica (K41) fue de 0,98 debido a la experiencia de los operadores mientras que el coeficiente de seguridad técnica (K42) fue de 0,93 ya que el tiempo para la eliminación de fallas técnicas es eficiente debido a la experiencia de los operadores. El coeficiente de utilización del tiempo productivo (K04) y coeficiente de utilización del tiempo de explotación (K07) fueron de 0,92 y 0,81 respectivamente resultando superiores a los obtenidos por Rodríguez (2015) siendo de 0,47 y 0,46 respectivamente, influenciado por el mejor aprovechamiento de los tiempos debido a la experiencia y estabilidad de la cosecha-transporte-recepción.

### **Evaluación de los índices técnicos y de explotación medios de transporte.**

Para llevar a cabo la transportación de la caña de azúcar desde el campo en cosecha hasta el central azucarero en la UEB se utilizan camiones de tiro HOWO SINOTRUK acoplados con dos (2) remolques los cuales transportan 60 t en total (20 t cada remolque y el camión).

El resultado obtenido por el coeficiente de utilización del tiempo de trabajo (t) que indica la parte que representan los gastos de tiempo en la carga y descarga y en las paradas durante el turno fue de 0,30 superior en a los obtenidos por González 2016 que fueron de 0,29 para el mismo medio de transporte, lo cual indica mejor utilización de los medios de transporte, esto se debe en parte a que la cosechadora de caña tuvo mayor tiempo limpio aunque todavía es un resultado desfavorable debido al bajo rendimiento agrícola de los campos, el coeficiente de utilización de la capacidad de carga estática (ϒe) fue de 0,96 lo cual revela que la carga nominal del medio de transporte fue aprovechada un 96%, siendo superior a la obtenida por González 2016 que fue de 0,90, debido a la experiencia obtenida por los operadores en el manejo del autobasculante. Elcoeficiente de utilización del recorrido (Ɓ) fue de 0,5 valor que se corresponde al tipo de ruta pendular de los medios de transporte cuyo único destino es el transporte de caña de azúcar viajando lleno hacia el central y vacío hasta el campo.

Productividad teórica (Wt) y la productividad real de los medios de transporte (Wr):

La determinación de la productividad teórica del medio de transporte (Wtt) camión HOWO SINOTRUK con dos (2) remolques, arrojó un valor de 12,14 t/h la cual fue mayor a la obtenida por González 2016 que estuvo entre 8,5 y 9 t/h con una media de 8,73 t/h para el mismo medio de transporte influyendo sobre esta la productividad de la cosechadora, el aprovechamiento de la capacidad de carga y la distancia a transportar que fue menor; la productividad real (Wr) fue de 11,65 t/h que comparado con la productividad media obtenida por González 2016 de 8 t/h es superior debido a que hubo un mejor aprovechamiento de utilización estática de la capacidad de carga del medio de transporte y una menor distancia a transportar.

### **Resultados del comportamiento de los tiempos de ciclo del proceso cosecha-transporte-recepción de la caña de azúcar.**

Tiempo de ciclo (Tc).

Para el cálculo de la productividad de los medios de transporte es necesario determinar el tiempo de ciclo (Tc), el cual se obtiene a través del fotocronometraje de cada uno de los tiempos tecnológicos que intervienen en él (ver Anexo 2 figura 3) y se consideró un rendimiento promedio del campo de 22,8 t/ha. Para el tiempo de llenado del transporte (tllMT), se determina el tiempo de llenado del autobasculante (tllab), cuyo resultado fue de 0,21 h. El tiempo de descarga del autobasculante (tdab) al medio de transporte tuvo un valor de 0,034 h. El tiempo de recorrido promedio del autobasculante (trab) (con carga hacia el medio de transporte y vacío hacia la cosechadora) fue igual a 0,2 h a una velocidad media de recorrido de 6,75 km/h. La cantidad de autobasculantes (Nc) que se necesitan para el llenado del medio de transporte es de 6. Por tanto, el tiempo de llenado del medio de transporte (tllMT) en el campo en cosecha fue de 2,66 h, superior al de Rodríguez 2015 que obtuvo 1,12 h, afectado fundamentalmente por tllMT, debido al bajo rendimiento analizado.

Para determinar el tiempo de recorrido se debe considerar, en primer lugar, la ubicación del Central, el cual se encuentra a una distancia media de 18 km, y otro elemento que influye en este parámetro es la velocidad de recorrido de los medios de transporte la cual depende principalmente de las condiciones de los viales. Por tanto, los cálculos se realizaron a partir de esta distancia siendo el resultado para el tiempo de recorridos con carga en terraplén (trcct) de 0,34 h; en asfalto (trcca) de 0,12 h y en vacío en ambas condiciones (trvt, trva), 0,29 y 0,14 h respectivamente. El tiempo medio de recorrido (tr), que demoró los medios de transporte desde el terreno cosechado hasta el Central y viceversa, fue de 0,88 h.

El cálculo del tiempo de estancia promedio del medio de transporte en el Central (te) dio como resultado 1,4 h siendo inferior al expuesto por Rodríguez 2015, obteniendo un valor de 1,78 h, influenciado fundamentalmente por la distancia del campo al central, el tiempo de ciclo (Tc) fue de 4,94 h como se muestra en la figura 3.3, superior al analizado por Rodríguez 2015 de 3,57 h, incidiendo en estos resultados el tiempo de llenado del medio de transporte.

## **Análisis de los resultados económicos**

Costos económicos del proceso de cosecha y transporte de la caña de azúcar. Para la evaluación económica de estos procesos se parte de la determinación de los elementos que componen los costos directos de explotación que se muestran en el anexo 2 tabla 2, en peso/h y peso/t, los costos de explotación de la cosechadora fueron de 63,14 peso/h y 2,64 peso/t siendo inferiores a los obtenidos por Rodríguez 2015 que arrojaron a los valores de 67,36 peso/h y 4,36 peso/t interfiriendo en estos los salarios de los operadores que disminuyeron y el empleo de lubricantes (aceite hidráulico) que por su carencia no se emplearon en la investigación referida. Los elementos que más influyeron en estos costos fueron los costos por mantenimiento y reparaciones, por consumo de combustible y pos salario.

Para el transporte el costo fue de 34,87 peso/h y 1,88 peso/t siendo menor a los obtenidos por Rodríguez 2015 de 31,44 peso/h y 3,61 peso/t. Los elementos de los costos que más influyeron fueron los costos por mantenimiento y reparación, así como por salario de los operadores (choferes)

## **Análisis de la estructura racional del complejo cosecha-transporte de la caña de azúcar empleando el modelo de Márkov.**

Para la realización de la composición racional del complejo cosecha-transporte-recepción de la caña de azúcar empleando el modelo de Márkov se definieron tres (3) estados que fueron la caña en cosecha Ec, la caña en transporte Et y la caña en recepción Er.

Para la aplicación de este modelo se determinaron valores de landa () que se muestran en el anexo 2 tabla 3, para esto se tuvo en cuenta la no disponibilidad técnica de la cosechadora (1-Kd) y los medios de transporte (camiones) siendo de 0,13 y 0,05 respectivamente, también se tuvo en cuenta que en el estado caña en cosecha existían dos (2) cosechadoras y para caña en transporte según el método determinista se necesitan 2,25 camiones para que exista un ciclo en el proceso cosecha-transporte-recepción. Para el estado de caña en recepción por las observaciones realizadas se obtuvo una probabilidad de transición de 0,41 y de no transición de 0,59.

Mediante los resultados obtenidos se puede formar la matriz de transición donde en el estado en cosecha la, probabilidad de transición es de 0,87 y la de no transición es de 0,13, siendo para caña en transporte de 0,05 la de no transición y 0,95 la de transición y para la recepción 0,41 la de transición y 0,59 la de no transición como se muestra en la matriz 50

(50)

Al analizar los resultados anteriores y determinar las probabilidades a través de las tablas de Poission, como se muestra en el anexo 2 tabla 4 se obtiene que la probabilidad de que no se rompa ninguna cosechadora es del 82% y de que se rompa uno (1) es del 16,37% lo que permite prever la afectación que va a haber en el ciclo por la parada de una cosechadora. Al analizar el caso de los camiones la probabilidad de que se no se rompa ningún camión es del 95,12%, de que se rompa uno (1) del 4,76% disminuyendo a 0,12% de que se rompan dos (2)

Como se mencionaba anteriormente el método determinista arrojó que se necesitan 2,25 camiones para que haya ciclo en el proceso, por tanto, teniendo en cuenta la baja probabilidad de roturas de al menos una cosechadora y/o camión se puede tomar como que la brigada, para el rendimiento agrícola de 22,8 t/ha quedará conformado por dos (2) cosechadoras con igual número de tractores movedores y dos (2) camiones para el traslado al central pues siendo el tiempo de llenado de 2,66 h y el tiempo de ciclo de 4,94 h la probabilidad de que la cosechadora espere por medios de transportes externos es casi nula.

Resultados de los costos por paradas del ciclo:

A partir de la matriz de transición se puede tener una estimación del costo si se detiene el ciclo en alguno de los estados siendo de 10,73 peso/h (ver anexo 2 tabla 5), partiendo del proceso la suma de los gastos por parada en los estados Ec, Et y Er en caso de no transición los cuales fueron 5,29; 0,82 y 4,62 peso/h respectivamente, para esto hubo un costo por parada del central de 7,84 peso/h, un costo por parada de la cosecha de 45,47 peso/h y del transporte de 16,56 peso/h.

**4. Conclusiones**

1. En la evaluación tecnológica y de explotación de la cosechadora CASE IH AUSTOFT A8800 se obtuvo una productividad en el tiempo limpio, operativo, productivo y explotativo de 38,08; 32,7; 26,62 y 23,69 t/h respectivamente.
2. La productividad teórica del medio de transporte (HOWO SINOTRUK) con dos (2) remolques fue de 12,14 t/h mientras que la productividad real fue de 11,65 t/h.
3. El tiempo de ciclo realizado por el medio de transporte (HOWO SINOTRUK) para un campo con un rendimiento de 22,8 t/ha, fue de 4,94 h, influenciado fundamentalmente por el tiempo de llenado el cual represento el 54,06% de este.
4. El gasto directo de explotación para la cosecha fue de 63,14 peso/h y 2,64 peso/t, mientras que en el transporte se obtuvo 34,87 peso/h y 1,88 peso/t.
5. Mediante el modelo de Márkov se obtuvo que para un campo con un rendimiento 22,8 t/ha la brigada quedara conformada por dos (2) cosechadoras y (2) dos medios de transporte ya que la probabilidad de que la cosechadora espere por medios de transportes externos es casi nula, siendo el gasto por parada del ciclo (cosecha-transporte-recepción) de 10,73 peso/h.
6. El modelo de cadenas de Márkov permite definir la conformación racional de la brigada cosecha- transporte- recepción a partir de otro modelo o método que proponga posibles composiciones.

**5. Referencias bibliográficas**

1. Amu, L. G. Logística de cosecha. Evaluación de tiempos y movimientos. Indicadores y control. Revista Tecnicaña No.26. 25-30pp. ISSN: 0123-0409. Colombia. 2010.
2. Bini, D., Latouche G.; Meini. B. Numerical Methods for Structured Markov Chains, Oxford University Press, Nueva York. 2005.
3. Bukiet, B., E. R. Harold y J. L. Palacios: “A Markov Chain Approach to Baseball”, en Operations Research, 45: 14-23, 1997.
4. Ching, W. K. y M. K. Ng: Markov Chains: Models, Algorithms and Applications, Springer, Nueva York, 2006.
5. Fernández, A. y Álvarez, E. Determinación de los principales indicadores de fiabilidad de la cosechadora de caña KTP-1. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. ISSN: 2071-0054. Cuba. Vol.1, No 3. pp. 57-60. 1988.
6. Fernández, A. y Delgado, N. Análisis del trabajo del parque de tractores en función del número de roturas imprevistas. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, ISSN: 2071-0054. Cuba. Vol.2, No. 1 pp. 27-32. 1989.
7. Goberman, V.A. Manual de explotación del transporte en la agricultura. Rosseljozizdat, Moscú. (en idioma ruso). 1975.
8. Larin, O.N., et al. Modern goals of development of transit traffic capacities in transport systems. Vestnik TOGU. No.3 (22). pp. 57 – 62. 2011.
9. Mamon, R. S. y R. J. Elliot (eds.): Hidden Markov Models in Finance, Springer, Nueva York, 2007.
10. Matos, N., Iglesias C. Modelo económico–matemático para la organización racional de los medios técnicos en la cosecha–transporte-recepción de la caña de azúcar. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. Vol.21. No.3. ISSN: 2071-0054. Cuba. 2012a.
11. Matos, N. et al. Optimización del proceso cosecha – transporte – recepción de la caña de azúcar. Revista Cubana de Ciencias Informáticas (RCCI). ISSN:1994-1536 Vol. 5. No. 3.2012b.
12. Matos, N. et al. Organización racional del complejo de máquinas en la cosecha-transporte - recepción de la caña de azúcar en la Empresa Azucarera “ARGENTINA”. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. Vol.23. No.2. Cuba.2014. ISSN: 2071-0054.
13. Rodríguez M, Herrera M; González O; López E y Placeres Y. Metodologías para la investigación de aspectos relacionados con la cosecha mecanizada de caña de azúcar en alta humedad. INFORME FINAL DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PROYECTO 0118: “Completamiento, desarrollo e introducción, a escala de UBP, de un complejo tecnológico de máquinas para la cosecha mecanizada de la caña de azúcar en suelos pesados y con alta humedad” Departamento de Mecanización Agrícola; Facultad de Ciencias Agropecuarias; Universidad Central de Las Villas 2013.
14. Rodríguez López, Y., Morejón Mesa, Y., Sosa Guerra, D.M.; Martínez Bao, O. Modelación matemática del complejo cosecha-transporte de la caña de azúcar para su racionalización. RCTA. Vol. 24. No. Especial. 2015. ISSN: 2071-0054.
15. Shkiliova, L., Suárez, C e Iglesias, C. Fiabilidad de los complejos tecnológicos. RCTA, Vol.9, No 3 y 4, pp. 23-29. UNAH. La Habana, Cuba. 2000. ISSN: 2071-0054.
16. Yesin, K.S.; Sevostyanov A.L. Logistics of Grain Transportation: Program Exploitation for Calculation of Optimum Number of Vehicles. Ecology and Transport. HERALD PNU. № 1 (32). 2014.

**ANEXOS**

Anexo 1 Figura 1. Interrelación entre trabajo sin fallo, mantenibilidad y disponibilidad. Fuente modificada a partir de Torres (2005).

Máquina

Mantenibilidad (Tj)

(3)

Trabajo sin Fallo:

(To - Fiabilidad) (2)

Disponibilidad (Kd)

(4)

donde:

ti- trabajo útil del artículo entre fallos; m- cantidad de fallos durante el periodo de observación; tbi- tiempo o volumen de trabajo invertido en detectar y eliminar el fallo del elemento i.

Anexo 2 Figura 2. Distribución del tiempo de turno de la cosechadora de caña CASE IH AUSTOFT A 8800 durante la cosecha[[4]](#footnote-4)

Tabla 1. Índices de técnicos y de explotación de la cosechadora de caña CASE IH AUSTOFT A 8800

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **NO.** | **PARÁMETRO** | **VALOR** | **NO.** | **PARÁMETRO** | **VALOR** |
| **Generales** | | | Productividad: | | |
| **1.** | U, t/ha | 22,8 | 10. | W1, t/h | 38,08 |
| **2.** | Vc, km/h | 6,5 …7,00 | 11. | W02, t/h | 32,70 |
| **3.** | Bc, m | 1,60 | 12. | W04, t/h | 26,62 |
| **4.** | Q, t | 559 | 13. | W07, t/h | 23,69 |
| **Tiempos tecnológicos totales:** | | | Coeficientes: | | |
| **5.** | T1, h | 14,67 | 14. | K21 | 0,89 |
| **6.** | T02, h | 17,09 | 15. | K3 | 0,84 |
| **7.** | T04, h | 20,99 | 16. | K41 | 0,98 |
| **8.** | T07, h | 23,59 | 17. | K42 | 0,93 |
| **9.** | Tt, h | 28,77 | 18. | K04 | 0,92 |
|  |  |  | 19. | K07 | 0,81 |

Figura 3. Tiempo de ciclo de los medios de transporte

Tabla 2 Costos de explotación de los medios mecanizados que intervienen en el proceso cosecha-transporte de la caña de azúcar.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Costos | Cosecha | | Transporte | |
| peso/h | peso/t | peso/h | peso/t |
| Gs | 18 | 0,75 | 14 | 0,59 |
| Gc | 20 | 0,84 | 4,20 | 0,17 |
| Gd | 6,94 | 0,29 | 0,38 | 0,01 |
| Gmr | 16,25 | 0,68 | 16,09 | 0,67 |
| CL | 1,95 | 0,08 | 0,20 | 0,44 |
| Cexp | 63,14 | 2.64 | 34,87 | 1,88 |

Tabla 3 Datos necesarios para elaborar la matriz de transición

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Estado | Kd | 1-Kd |  | k |
| Ec | 0,87 | 0,13 | 1.7 | 2 |
| Et | 0,95 | 0,05 | 2,9 | 3 |

Tabla 4 Relación de probabilidad de roturas de cosechadoras y camiones.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| tipo | Cantidad de medios | Probabilidad que se rompan |
| cosechadora | 0 | 0,8187 |
| 1 | 0,1637 |
| 2 | 0,0164 |
| camiones | 0 | 0,9512 |
| 1 | 0,0476 |
| 2 | 0,0012 |
| 3 | 0,0000 |

Tabla 5 Relación de gastos por paradas y la probabilidad de no transición

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Cp, peso/h | Pnt | Cpes, peso/h |
| Ec | 45,57 | 0,13 | 5,29 |
| Et | 16,56 | 0,05 | 0,82 |
| Er | 7,84 | 0,59 | 4,62 |
| Ciclo | | | |
| Cpest peso/h | | 10,73 | |

1. : Departamento de Ingeniería Agrícola en la Universidad Agraria de la Habana (UNAH).Cuba [yanita@unah.edu.cu](mailto:yanita@unah.edu.cu). [↑](#footnote-ref-1)
2. Universidad Agraria de la Habana (UNAH). Cuba [claudiaca@unah.edu.cu](mailto:claudiaca@unah.edu.cu). [↑](#footnote-ref-2)
3. Centro de Mecanización Agropecuaria (UNAH). Cuba. [ymm@unah.edu.cu](mailto:ymm@unah.edu.cu) . [↑](#footnote-ref-3)
4. Leyenda: T1 -Tiempo limpio de trabajo; T2 -Tiempo auxiliar; T3 -Tiempo de mantenimiento técnico; T4 -Tiempo para la eliminación de fallos; T5 -Tiempo para necesidades del personal de servicio; T6 -Tiempo de traslado en vacío; T7 -Tiempo de mantenimiento técnico diario y T8 -Tiempo de paradas por causas ajenas. [↑](#footnote-ref-4)