

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

División de Ingeniería



**Uso de Sistema de Posición Global (GPS) en sembradoras,
aplicadas en la agricultura.**

Por:

EMANUEL ALBERTO MOGUEL MATUZ

MONOGRAFIA

Presentado como requisito parcial para obtener el título de:

Ingeniero Mecánico Agrícola.

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Junio 2007

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA**

**Uso de Sistema de Posición Global (GPS) en sembradoras, aplicada en la
agricultura.**

MONOGRAFIA

POR:

EMANUEL ALBERTO MOGUEL MATUZ

**Que se somete a consideración del H. jurado examinador como requisito
parcial para obtener el título de:**

INGENIERO MECANICO AGRICOLA

PRESIDENTE DEL JURADO

M.C. RAMIRO LUNA MONTOYA

SINODAL

SINODAL

M.C. ROSENDO GONZÁLEZ GARZA

**M.C. JOSÉ JUAN DE VALLE
TREVÍÑO**

COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN DE INGENIERIA.

M.A. DR. RAUL RODRIGUEZ GARCIA

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO, JUNIO 2007

DEDICATORIA

A DIOS NUESTRO SEÑOR.

Por haberme dado vida para terminar unos de mis más grandes sueños, por guiarme siempre por el buen camino de la vida y enseñarme a amar a todas las personas que me rodean.

A MIS PADRES

Manuel Moguel Pascasio : Por enseñarme a luchar, por darme tu apoyo y por brindarme la confianza que siempre necesite para terminar mi carrera, gracias papá por haberme aceptado como tu hijo, te amo.

Luz Gloria Matuz Vilchis: Por estar conmigo cuando mas la necesito, por darme ese amor que solo tú puede dar, por todas las noches de desvelo, gracias mamá, siempre serás el tesoro mas grande en mi vida, te amo mamá.

A MIS HERMANAS

Ana Gabriela: Por todos tus consejos, por tu confianza que depositaste en mí, y por ayudarme cuando más lo necesitaba, gracias hermanita.

Imelda: Por creer en mí y por tu apoyo cuando más lo necesite, por cuidar de nuestros padres cuando quedan solos, gracias hermana.

Graciela : Por que siempre te has preocupado por mí cuando estoy lejos, por rezar por mí cuando mas lo he necesitado, gracias hermanita.

Francisca (paquita): Por apoyarme siempre cuando lo necesitaba, por preocuparte por mí cuando estoy lejos de casa y por el amor que siempre me has brindado, como madre.

A MIS HERMANOS

Gabriel: Por apoyarme cuando mas lo necesité eres un gran hermano y mas que hermano eres un amigo que siempre estarás en todas partes, eres un hermano súper bueno.

Antonio: Por brindarme todo tu apoyo, para terminar este sueño que más deseaba.

Luís: Por estar siempre cuando los necesito y por tus consejos para salir adelante.

Evet: Por estar siempre en las buenas y en las malas y por brindarme tu cariño como uno mas de mis hermanos.

A MIS SOBRINOS

Amellally, Santiago, Iriari, Luis Angel, Alitsel Paloma, Henry Antonio: Por alegrarme la vida, y ser parte de este sueño que más anhele.

A MI UNICO Y GRAN AMOR

Yessenia Zambrano Cruz: Por estar siempre cuando te necesito y no pedirme nada a cambio, por entregarme el gran amor que tu tienes hacia mí, por comprenderme y escucharme cuando mas necesito de alguien, por estar siempre en las buenas y en las malas conmigo, eres una gran mujer, te amo.

A MIS COMPAÑEROS (AS)

Francisco Neftalí, Tamay moo, Clarí, Amalía, Marilu, Raquel, Isaac, Jorge, Cuco, Oso, Tapía, Lobo, Teodoro, Chava, Ismael, Ana, Verito, Anita, Ale, Lilitana, Danía, Juan Antonio, Gerardo, Alímy, Danilo, junior, entre otros mas.

A MIS PROFESORES DE TELESECUNDARIA

Moisés Montero y Montero E Isabel Santos Matuz: Por ser unas extraordinarias personas, por ser un gran ejemplo para mí, por todos los consejos que me dieron, por haberme inculcado cosas buenas y sobre todo por haberme enseñado a diferenciar lo bueno y lo malo, por todas esas cosas y muchas mas, mil gracias.

A todos en general les doy las gracias por estar conmigo en las buenas y en las malas, por compartir conmigo tantos momentos felices, mil gracias.

AGRADECIMIENTOS

A MI ALMA MATER: Por haberme recibido en su seno y sobre toda darme la oportunidad de crecer y formarme como un profesionalista.

ING. RAMIRO LUNA MONTOYA: Por darme la oportunidad de realizar este trabajo, por darme el tiempo necesario para las asesorías, por confiar en mí, por todo mil gracias.

ING. ROSENDO GONZÁLEZ GARZA. Por brindarme su amistad, confianza y apoyo, durante mi carrera y permitirme participar como su asesorado en este trabajo de investigación el cual me lleva a la superación académica.

ING. JOSÉ JUAN DE VALLE TREVIÑO. Por brindarme su amistad, por su apoyo para realizar este trabajo y participar como su asesorado.

A todos ellos por su amistad y brindarme sus enseñanzas dentro y fuera de las aulas en mi formación como profesional.

INDICE DE CUADROS Y DE FIGURAS	i
DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS	ii
INTRODUCCIÓN	vi
CAPITULO I SEMBRADORAS	1
1.1 Sistema de siembra	1
1.1.1 Cultivo en toda la superficie	1
1.1.2 Cultivo en línea	1
1.1.3 A voleo	1
1.1.4 En línea o a chorrillo	2
1.1.5 A golpes	2
1.1.6 Monogramo	2
1.2 Tipos de sembradoras	3
1.2.1 Sembradora a voleo	3
1.2.2 Sembradora e línea	4
1.2.3 Sembradora a golpes y monogramo de precisión	6
1.3 Datos técnicos y rendimiento	7
1.4 Calibración	8
1.4.1 Sembradora en hilera de grano grueso	8
1.4.2 Sembradora en hilera a chorrillo	9
1.4.3 Sembradora a voleo	12
CAPITULO II SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL GPS	14
2.1 Historia del sistema de posicionamiento global (GPS)	14
2.2 ¿Que es el GPS?	17
2.2.1 Funcionamiento	17
2.2.2 Elementos que lo componen	18
2.3 Fiabilidad de los datos	19
2.4 Fuentes de error	19
2.5 GPS diferencial	20
2.5.1 Funcionamiento del sistema	20
2.5.2 Aplicaciones	21
2.6 Referencia geográfica de los predios en mapa digital	21
2.7 Determinación de problemas específicos en áreas determinadas	22
2.8 Regiones que se usan el GPS en la agricultura	22

2.9 Levantamiento topográfico co el GPS	22
2.10 Waypoints	23
2.11 Taco bell	24
2.12 Característica del Navstar GPS	24
2.13 Tipos de servicios de Nvstar GPS	26
2.14 Descripción del sistema de posicionamiento global GPS	27
2.14.1 Sistema de posicionamiento global GPS	27
2.15 Monitoreo de rendimiento y mapeo	30
2.16 Determinación de la posición del georeceptor	30
CAPITULO III AGRICULTURA DE PRESICION	33
3.1 Agricultura de presición	33
3.2 Herramienta de agricultura de presicion	34
3.2.1 Controladores	35
3.2.2 para obtención de datos utiles con el objeto de tomar decisiones	35
3.2.3 Dosis variables de insumo	35
3.3 Evolución de ventas de herramientas de agricultura de presicion	36
3.3.1 Monitoreo de rendimiento	36
3.3.2 Monitoreo de proteína, aceite, grasa y humedad	37
3.3.3 Monitoreo de siembra	37
3.3.4 Controladores y/o actuadores	37
3.3.5 Software especifico	38
3.3.6 Sensores en tiempo real	38
3.3.7 Imágenes	38
3.3.8 Banderilleras satelitales	39
3.3.9 Novedades revolucionarias en materia de automatización	39
3.4 Beneficio	40
3.5 Uso de la electrónica	41
3.6 Resultados, presente y futuro de la agricultura de presicion	42
3.7 Otras aplicaciones del GPS en la agricultura	43
CAPITULO IV SEMBRADORA CON EL GPS	45
4.1 Sistema de mapeo de siembra	46
4.2 Sembradora IOM inteligente verio – agrometal . INTA triple dosificacion variable	48
4.3 Circuito del sistema de sembradora IOM - agrometal - verion inteligente	49

4.3.1 Funcionamiento	50
4.3.2 Importancia de la variabilidad y propuestas acerca de cómo manejarlo	51
4.4 Ensayos realizados en maíz y soja.	54
4.4.1 Funcionamiento de la sembradora de dosis variable.	54
CAPITULO V CONCLUSION	56
BIBLIOGRAFIA	58

INDICE DE FIGURA

	Página
Figura 1	Sembradora apropiada para semillas pequeñas y, especialmente para pratenses. 4
Figura 2	Sembradora, para siembre de hileras. 5
Figura 3	Sembradora de precisión neumática. 7
Figura 4	Sistema de funcionamiento del GPS. 18
Figura 5	Mapa de levantamiento topográfico. 23
Figura 6	Constelación GPS. 28
Figura 7	Constelación de frecuencia. 30
Figura 8	Representación idealizada de la geometría de los satélites y de la medición de pseudo distancias. Fuente: Enge y Misra, 1999. 32
Figura 9	Pasos de la agricultura de precisión 41
Figura 10	Bloque del sistema. 46
Figura 11	Imagen del prototipo montado sobre el banco de pruebas del distribuidor de una máquina sembradora neumática. 47
Figura 12	Imagen del prototipo y su interface con una PC, donde se visualiza un mapa de siembra. 47
Figura 13	Esquema de circuito. 49
Figura 14	Mapa de rendimiento con escasa variabilidad como para decidir dosis variable. 51
Figura 15	Mapa de rendimiento con alta variabilidad. 53
Figura 16	Ciclo de rendimiento, con el uso del GPS. 53
Figura 17	Detalle de monitor verion para dosis variable, manual o satelital. Ubicación del monitor (arriba) y monito de siembra Agromental (abajo) en la cabina del tractor. 55
Figura 18	Sensor en la rueda y activador de siembra, al momento que la maquina esta clavada. Detalle de uno de los tres motores hidráulicos variadores de vueltas del tren científico para dosificar variable tanto semilla como fertilizante. 55

INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1	Evolución de las ventas de algunas de las herramientas de Agricultura de Precisión. 36
Cuadro 2	Diferencias de sembradoras en cuanto a la forma de variar la densidad de siembra o dosis de fertilizante. 48

INTRODUCCION

La realidad que estamos viviendo hoy es otra, ya existen empresas que están basadas en el prototipo de la sembradora inteligente diseñando modelos totalmente nacionales para realizar dosis variable en tiempo real, con el gran logro de reducir los costos de esta herramienta y ponerla al alcance del productor, ya que hoy en día los productores se están actualizando tratando de utilizar la tecnología que día con día esta cada vez mas avanzada.

Los recursos relacionados con la cibernética y las comunicaciones, que acrecientan notablemente la eficiencia de la maquinaria, son cada vez más familiares para los usuarios de equipos agrícolas. Los equipos de alta productividad necesarios para trabajar en gran escala reducen costos de operación (amortizaciones, intereses y gastos en mano de obra, gasoil, mantenimiento y reparaciones), pero si el complemento adecuado de la tecnología puede magnificar errores y perder competitividad.

Es decir que el ahorro logrado al incrementar los anchos y la capacidad de trabajo en sembradoras, pulverizadores y cosechadoras, entre otras máquinas, es posible que se pierda debido a que errores de superposición de pasadas o generación de áreas sin cubrir, la falta o exceso de producto o semilla, y pérdidas de cosecha generadas en aspectos no detectados a tiempo, afectan grandes porciones de superficie.

Las nuevas tecnologías basadas en el Sistema de Posicionamiento Global por Satélites (GPS), en los Sistemas de Información Geográficos (GIS) y en las Aplicaciones de la Informática a la Automatización, han revolucionado las técnicas de cultivo, según la llamada "Agricultura de Precisión".

Actualmente ya se dispone en nuestro país de los medios necesarios para poder aplicar la Agricultura de Precisión. En efecto, tenemos correcciones diferenciales vía satélite ("ONINISTAR"), que simplifican mucho el manejo del GPS y existen en el mercado equipos combinados GPS GIS respaldados por marcas comerciales, que garantizan su puesta a punto y su mantenimiento.

Por lo tanto estas nuevas tecnologías no pueden implantarse de forma masiva en un plazo corto. Pero lo que si parece probable es que dada su extraordinaria potencialidad vayan entrando de una forma gradual en el campo. Además como el número de agricultores se va reduciendo de forma muy rápida con el consiguiente incremento de la superficie media por explotación y las condiciones de nuestra agricultura varían mucho dentro de un mismo entorno, quiere decirse que para conocer bien las características de la tierra, hay que recurrir a un soporte informático que recoja los distintos eventos.

Y como se trata de hacer esto durante varios años, tal vez sea ahora el momento ideal para empezar a elaborar el primer mapa de cosechas. Hacer esto es relativamente fácil y si de aquí a unos años disponemos de una buena serie histórica de datos, cuando se implante plenamente la Agricultura de Precisión llevaremos mucho terreno ganado.

CAPITULO I

SEBRADORAS.

En este capitulo se expone los sistema de siembra, tipos de sembradoras, datos técnicos y calibración que se le realizan a cada una de la diferente sembradoras.

1.1- SISTEMA DE SIEMBRA.

La siembra consiste en la colocación en el terreno de cultivo de las semillas, en las condiciones requeridas para su desarrollo. Dentro de estas condiciones existen distintos sistemas de siembra, por tanto, de cultivo.

1.1.1 Cultivo en toda la superficie:

Se realiza cuando no es necesario dar labores durante toda o la mayor parte del tiempo de desarrollo de las plantas.

1.1.2 Cultivo en líneas:

Las plantas quedan colocadas en hileras, con el fin de dejar zonas libres para el paso de maquinas. El establecer un tipo u otro de cultivo parte de la forma de realizar la siembra, que puede ser. Sierra a voleo, siembra en líneas a chorrillo, siembra en fajas, siembra a golpes.

1.1.3 A voleo:

Distribución al azar de las semillas sobre toda la superficie del terreno.

1.1.4 En línea o a chorrillo:

Este tipo es el que normalmente se usa como ya se ha dicho en la siembra de trigo, cebada, avena, y otros cereales, esto consiste en la Colocación aleatoria de las semillas en un surco, cubriéndolas, para dar líneas definitivas, puede ser en una anchura de 1 cm o en fajas o bandas de 6-8 cm.

1.1.5 A golpes:

Colocación de grupo de semillas a distancias definidas, en líneas.

1.1.4 Monograma:

Colocación precisa de semillas individuales a distancias definidas, en líneas. Este tipo de sembradoras se puede denominar “de precisión”, si supieran el nivel establecido establecido en el correspondiente ensayo.

El sistema de cultivo en toda la superficie de siembra en general por uno de los dos primeros métodos, mientras que el cultivo en líneas supone la utilización de cualquier método, menos el de voleo.

La finalidad en todos los casos es establecer una densidad superficial de plantas óptimas, y el espaciamiento adecuado, desde el punto de vista agronómico y económico. La densidad de plantas y el espaciamiento vienen definidos principalmente por:

- a. Clase de cultivo
- b. Tipo de suelo.
- c. Fertilidad de suelo.
- d. Humedad disponible (eventualmente, riego)
- e. Efecto del espaciamiento en la líneas sobre la facilidad y el coste de las operaciones: aclareo, control de malas e hierbas, cultivo y recolección.

(Antonio Laguna Blanca 1999)

1.2 TIPOS DE SEMBRADORAS.

Las máquinas sembradoras tiene como misión colocar en el terreno (en diferentes condiciones) las mas diversas clases de semilla sin dañarlas, en general, la siembra la realizan en líneas, a una profundidad uniforme, pero diferente para cada tipo de semilla y condiciones distintas, bien sobre todas la superficie o bien en líneas equidistantes.

Las sembradoras se pueden clasificar según el sistema de siembra requerido:

1.2.1 Sembradora a voleo:

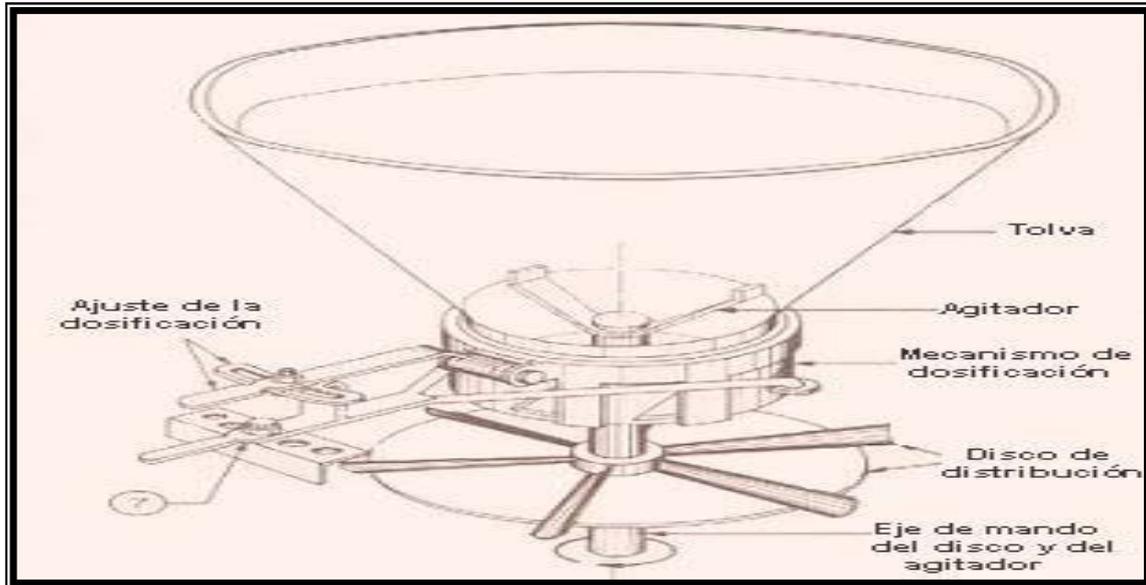
Consiste en distribución al azar de las semillas sobre toda la superficie del terreno, y una vez depositada enterrarla con gradas de púas, rulos, etc., es apropiada para semillas pequeñas y, especialmente para pratenses. Esta sembradora suelen ser de contribución muy simple, distinguiéndose dos tipos:

- a. Centrífuga
- b. De descarga libre.

Las primeras coinciden con las abonadoras centrífugas, y aunque se puede conseguir una buena precisión en el reparto, ofrece problemas similares a la siembra manual: consumo excesivo de semilla e imposibilidad de la posterior mecanización de las binas o labores secundarias de cultivo.

Las sembradoras de descarga libre son análogas a las sembradoras de chorrillo a las que se les suprimen los tubos de caída, dejando caer la semilla libremente a poca altura. Van provistas, en su parte posterior, de una grada de púas o de rodillos para enterrar ligeramente la semilla.

FIGURA 1. Sembradora apropiada para semillas pequeñas y, especialmente para pratenses.



Fuente: <http://paginas.usco.edu.co/~juvela/conocimiento,calibracionyoperaciondesembradoras.html>

1.2.2 Sembradora en línea.

Con las sembradoras en línea o de chorrillo se consigue depositar de forma continua sobre cada línea de siembra a una determinada distancia.

Las operaciones que realizan estas máquinas:

1. Abrir el surco donde se va a depositar la semilla. Se realiza con cuchillas circulares (un solo disco cóncavo o dos discos planos) o con rejas asurcadoras, montadas sobre el bastidor, de forma que van siguiendo la superficie del terreno y pueden elevarse por encima de algún obstáculo que encuentre.
2. Dosificar y depositar la semilla en el surco realizado. Se realiza por medio de los órganos distribuidores y de los tubos de caída.

El órgano de distribución es una parte esencial de la sembradora, debe permitir una gran regularidad de siembra, y según su polivalencia podrá ser utilizada para distintas especies de semillas. Pueden ser de rodillos, centrífugas y neumáticas.

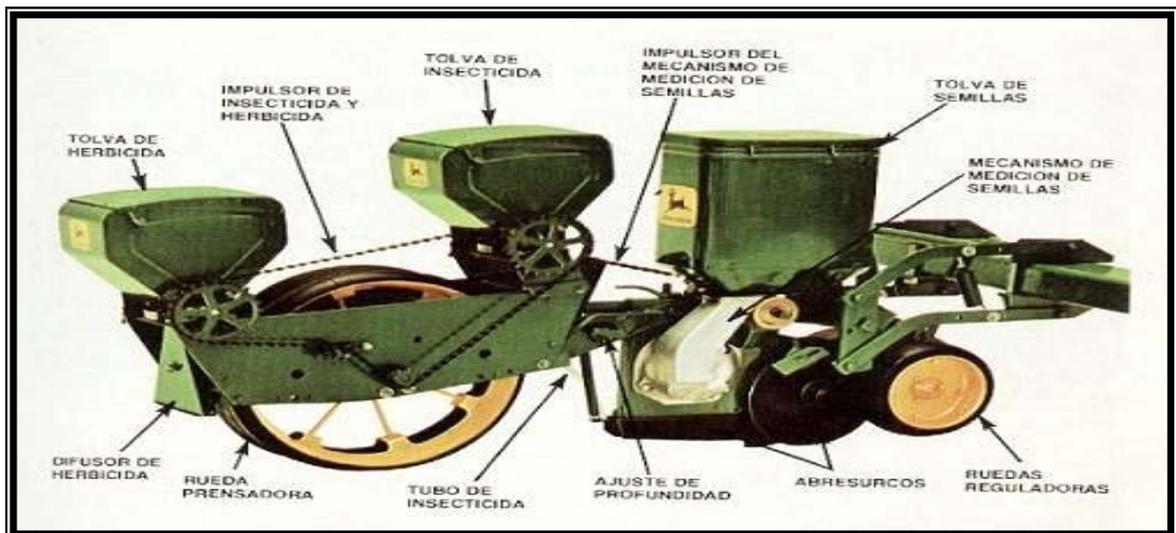
Las sembradoras con elemento dosificador de rodillos llevan uno en cada línea de siembra, montados sobre un mismo eje giratorio. Se trata de un rodillo acanalado, una rueda de dientes o cucharillas.

En las sembradoras con distribuidor centrífugo las semillas penetran, por gravedad, desde la tolva en un cono giratorio por una abertura regulable. Una vez en el interior, por unas aletas soldadas al cono, son sometidas a fuerzas que originan su ascensión hasta llegar a la tapa superior donde existen agujeros por los que penetran en los tubos de caída y son dirigidas hacia las botas de apertura del surco de siembra. En las sembradoras con distribuidor neumático, la semilla es dosificada en un solo cilindro situado debajo de la tolva, a cuya salida es recogida por una corriente de aire y llevada a una cabeza distribuidora que los distribuye a los tubos de descarga.

3. Enterrar el grano. La propia reja puede realizar esta operación, aunque se pueden utilizar otras rejas, rastras, cadenas, etc.
4. Comprimir el suelo alrededor de la semilla, mediante rodillos y así favorecer el aumento de la humedad entorno a la ella.

(<http://www.google.com.mx/search?hl=es&q=tipos+de+sembradora&meta=>)

FIGURA 2. Sembradora, para siembra de hileras.



Fuente: <http://paginas.usco.edu.co/~juvela/conocimiento,calibracionyoperaciondesembradoras.html>

1.2.3 Sembradora a golpes y monograno (de precisión).

La siembra a golpes consiste en colocar una determinada cantidad de grano sobre cada línea de siembra, de forma intermitente y de tal forma que los granos queden separados entre sí una distancia constante. Mientras que la siembra monograno o de precisión se busca colocar semillas individuales a distancias exactas unas de otras.

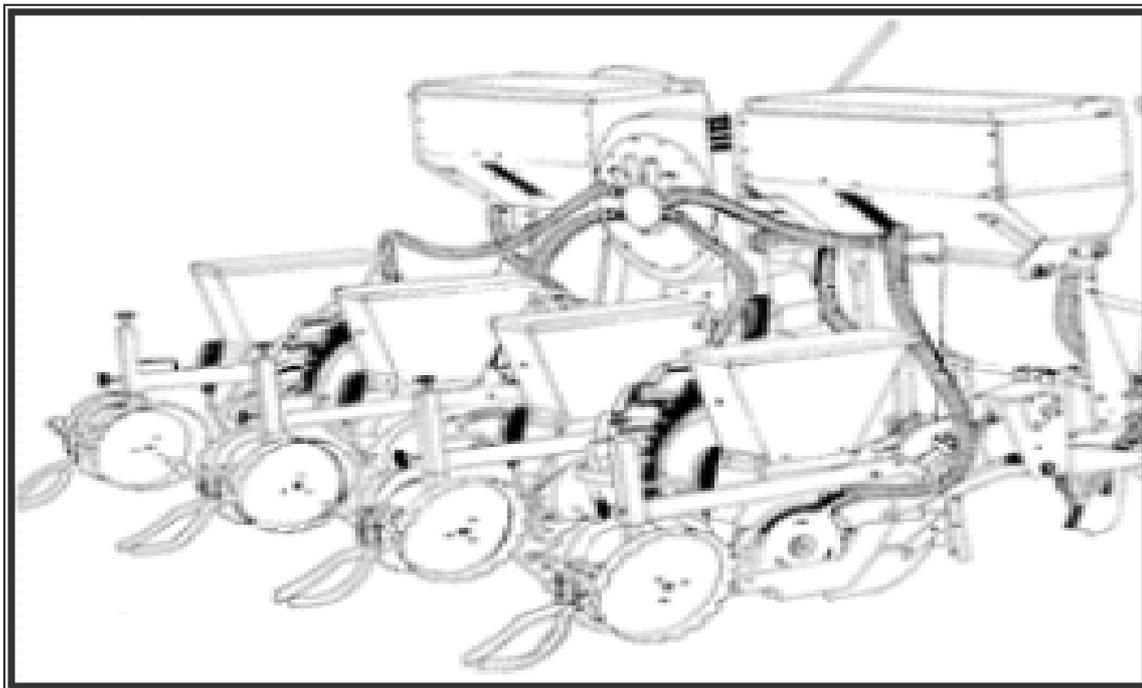
Lo cierto es que cambiando los platos de distribución se puede conseguir depositar un grupo de semillas o una sola. Por tanto, una sembradora de precisión es aquella que deposita a profundidad uniforme y a distancias iguales el grano, consiguiendo además un paralelismo entre líneas. Esta siembra permite:

- Ahorro de semillas a aplicar.
- Exactitud en la superficie unitaria de las plantas para una productividad óptima.
- Mayor facilidad para realizar labores de cultivo mecanizadas.
- Disminución de las faenas de escarda y aclareo.
- Siembra a distancia definitiva
- Óptimas condiciones para la recolección.

En este tipo de maquinaria, un elemento esencial es el mecanismo distribuidor, concebidos para que suelten las semillas individualmente, una tras otra, con intervalos regulares. Existen distribuidores mecánicos (de plato vertical, plato oblicuo, plato horizontal y de correa) y neumáticos.

(<http://paginas.usco.edu.co/~juvela/conocimiento,calibracionyoperaciondesembradoras.html>)

FIGURA 3. Sembradora de precisión neumática.



FUENTE: (www.agroinformacion.com.)

1.3 DATOS TÉCNICOS Y RENDIMIENTO.

La siembra se realiza generalmente como un proceso separado de las demás labores, sobre el terreno ya perfectamente preparado y empleando un solo operario. La necesidad media de potencias, para el tractor, de 5 a 7.5 kw (8-10 cv) por metro de anchura.

En la tendencia en la simplificación de las labores aumenta el interés de la combinación de siembra con otras labores (arado, fresa, grada y abonadora), así como la siembra directa.

La capacidad de la tolva de las sembradoras de precisión es:

De plato vertical: 4-8 l.

De plato inclinado: 8-15 l.

De plato horizontal: 15-18 l.

Para la siembra de remolacha y hortalizas es una capacidad más que suficiente. Sin embargo, en el caso del maíz, capacidades menos de 10 litros hacen aumentar mucho los tiempos accesorios de llenado de la tolva.

1.4 CALIBRACIÓN

La calibración de cada una de las sembradoras se puede realizar utilizando los siguientes procedimientos:

1.4.1 Sembradora en hilera de grano grueso

La graduación de este tipo de sembradora se hace teniendo en cuenta los siguientes datos:

D = Diámetro de la rueda motriz en m. **Z₁/Z₂** = Relación de piñones rectos de la rueda motriz y el eje inferior de la tolva.

Z₃/Z₄ = Relación de piñones cónicos del eje de la tolva y de la base del plato (piñones fijos).

n = Número de celdas u orificios del plato distribuidor

N = El número de semillas por vuelta de la rueda motriz.

$$N = Z_1/Z_2 \times Z_3/Z_4 \times n \quad (1)$$

dm = Distancia entre plantas medida en m

$$dm = \frac{11 \cdot D}{N} \quad (2)$$

Npha = Número de semillas o plantas por hectárea.

$$Npha = \frac{10.000m^2/ha}{dm \times sm} \quad (3)$$

sm = distancia entre surcos, en m.

Luego los cálculos se realizan teniendo en cuenta lo siguiente:

A partir del número de plantas deseado por hectárea y las distancias entre surcos, se calcula la distancia entre plantas con la ecuación (3).

Conociendo la distancia entre plantas, a partir de la ecuación (2) se calcula el número de semillas depositadas por vuelta de la rueda motriz.

Conociendo la relación de piñones fijos y el número de celdas del plato distribuidor, se establece a partir de la ecuación (1) la relación $Z1/Z2$ para el N deseado; y se seleccionan los piñones rectos que más se aproximen a esa relación. (Wilkinson Robert 1977)

1.4.2 Sembradora en hilera a chorrillo.

Se denomina de Grano Fino para siembra convencional en hileras y puede ser de labranza previa o equipo de siembra directa.

a) Densidad de Siembra.

La densidad de siembra que se va a obtener, se determina graduando el rodillo acanalado o cualquier otro mecanismo de dosificación a fin de que deje pasar la cantidad correcta de semilla. Este mecanismo de siembra, se gradúa

accionando la palanca reguladora de semilla a la posición indicada en la tabla de calibración para el cultivo y la cantidad de siembra deseada; los ritmos ó densidades de siembra que figuran en las respectivas tablas del catálogo de las máquinas (sembradora Jhon Deere serie 8000 9 modelo 8250), pueden duplicarse invirtiéndose los engranajes de 20 a 28 dientes, ubicados en los extremos de las cajas.

Los engranajes van reglados de fábrica para la posición de velocidad lenta en la cual se consigue máxima eficiencia y mínimo desgaste; pueden lograrse menores densidades de siembra (la mitad de lo que figura en la tabla), cambiando los engranajes de 20 y 28 dientes por el de 13 y 35 dientes respectivamente. Cuando la tabla de calibración expresa la densidad de siembra en libras por acre; este valor se debe multiplicar por 1.12 para hacer la conversión a Kg/ha.

Teniendo en cuenta que los valores de la tabla de calibración, corresponden generalmente a una variedad de semilla diferente a la que se desea sembrar; siempre se recomienda comprobar la densidad de siembra que se va a usar para lo cual se debe tener en cuenta:

Número de descargas de la tolva (chorros) y distancia entre ellos.

Diámetro de la rueda propulsora.

Posición de la palanca reguladora de semilla.

Posición de la compuerta de salida del grano. (Jhon Deere 1975)

b) Comprobación de la densidad.

- Se coloca la palanca reguladora de semillas en la posición que señala la tabla de calibración para la densidad de siembra del cultivo deseado.
- Se bloquea la máquina de tal forma que permita hacer girar la rueda propulsora con la mano.
- Se coloca suficiente semilla en la tolva y se cierran todos los orificios de descarga excepto uno.
- Se hace girar la rueda propulsora (algunas vueltas) hasta que fluya la semilla teniendo en cuenta lo siguiente:

- Se hace una marca en la rueda propulsora, se coloca una bolsa en el tubo de descarga que queda libre y se hace girar la rueda propulsora un número de veces determinado (20 por ejemplo) y se pesa la semilla descargada por un surco en ese número de vueltas (nv).
- El perímetro de la rueda será igual a $\pi \times D$. El área cubierta en n vueltas de la rueda motriz será:

$$A = \pi \times D \times nv \times sm \quad (4)$$

$$\pi = 3.1416$$

D = Diámetro de la rueda propulsora o motriz.

nv = Número de vueltas.

sm = Distancia entre chorros o descargas.

AT = Area total.

$$AT = \pi \times D \times nv \times sm \times nc \quad (5)$$

nc = Número de chorros o surco de la sembradora.

En esta área se está sembrando una cantidad de semilla equivalente a la semilla que descarga en un surco (p_1), multiplicada por el número total de surcos.

P TOTAL = Semillas total (en kilogramos)

$$P \text{ TOTAL en AT} = p_1 \times nc \quad (6)$$

p1 = semillas descargadas por un surco en Kg en n vueltas (nv) de la rueda motriz.

c) Calculo de descarga en Kgs/Ha.

$$\text{Kgs/Ha} = \frac{10.000 \text{ m}^2/\text{ha} * \text{PTOTAL Kg.}}{\text{ATm}^2} \quad (7)$$

AT = Área total cubierta por la sembradora en n vueltas de la rueda motriz (nv) y con nc (número de descarga o surcos totales) ubicados a una distancia (sm) entre surcos.

PTOTAL = Peso total de semilla descargado por todos los tubos de descarga (nc) en n vueltas (nv) de la rueda motriz.

Esta descarga en Kg./ha se compara con la cantidad de semilla por hectárea que se desea sembrar, si el resultado es menor se aumenta la posición de la palanca reguladora de semilla hasta obtener la cantidad de semilla deseada y si es mayor se disminuye la posición de la palanca.

1.4.3 Sembradoras a Voleo.

Este tipo de sembradoras se calibran teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

Velocidad de rotación del TDF que debe ser de 540 rpm.

Velocidad de avance del tractor (entre 5 y 10 Km./hora).

Ancho de la banda de distribución, el cual dependiendo de la máquina puede variar entre 8 y 20 metros.

Posición de la palanca de descarga.

Para su calibración se procede de la siguiente forma: Se determina el ancho de la banda de distribución haciendo funcionar por poco tiempo el equipo, a 540 rpm y previo el llenado de la tolva. Se determina la descarga para cada posición de la compuerta de salida en Kg./hora, haciendo operar el equipo con el tractor parado (se opera el equipo durante 1 o 2 minutos, se recoge y pesa la semilla y se lleva a Kg./hora). Se determina el área cubierta por la máquina en una

hora de trabajo, para la velocidad de trabajo seleccionada; este valor se ajusta para la eficiencia de la operación, la cual se puede considerar de un 90 %.

$$\text{Rendimiento en Ha/hora} = \frac{\text{ancho (m) x velocidad (Km./hora) x ef.}}{10} \quad (8)$$

Se calcula la descarga en Kg/ha para cada posición de la palanca para la velocidad de trabajo seleccionada de la siguiente forma:

$$\text{Kgs * Ha para la posición X} = \frac{\text{Descarga en Kg/h en la posición X}}{3} \quad (9)$$

Área cubierta por la máquina en 1 hora de trabajo a la velocidad seleccionada (Ha/h).

Se selecciona la posición de descarga que más se aproxima a la densidad de siembra deseada.

La densidad de siembra se puede ajustar variando la velocidad de operación, hasta conseguir una densidad de siembra que se ajuste a la recomendación. (Hunt Donnell 1983)

CAPITULO II

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS).

En este tema se expondrá la historia, que es y el funcionamiento del GPS, de igual manera se verán algunos conceptos relacionado con el sistema mencionado anteriormente para tener un amplio conocimiento de lo que representa el sistema y de los elementos que lo componen, se expondrán referencias geográficas de los predios en mapa, determinación de problemas específicos en áreas determinadas, monitoreo de rendimiento y determinación de la posición del receptor.

2.1 HISTORIA DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS).

El Sistema de Posicionamiento Global (SPG) tiene su origen en el antiguo sistema de posicionamiento espacial de la Marina de los Estados Unidos denominado "TRANSIT". El objetivo de dicho sistema era posicionar tanto submarinos con misiles balísticos como embarcaciones militares. El sistema estaba formado por cinco satélites con órbitas polares casi circulares y a una altura de 1100 km que transmitían señales a 150 y 400 MHz. El usuario(a) podía utilizar un satélite a la vez y debía esperar 100 minutos para tener acceso a otro satélite; una vez que tenía recepción el sistema requería entre 10 y 15 minutos para determinar la posición.

El sistema fue utilizado por los submarinos de los Estados Unidos de América para determinar su posición y ajustar su sistema de navegación. A partir de 1967 el sistema se empezó a utilizar de forma muy limitada en el sector civil (navegación marítima y geodesia) y dejó de operar en 1996; un año después de haberse declarado operacional el sistema GPS (Enge y Misra, 1999).

El primer satélite fue puesto en órbita en 1960 y el último en 1965 y aun cuando el sistema representaba un avance significativo en el posicionamiento satelital, era lento, impreciso e intermitente y por tanto era inapropiado para posicionar misiles y para la navegación aérea.

El desarrollo del actual SPG se inició en 1963 con a investigación contratada a la corporación “Aerospace” (El Segundo, California; USA) por parte de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos de América.

Posteriormente en 1973 se estableció un programa conjunto entre la Fuerza Aérea, la Marina y la Infantería de los Estados Unidos; el cual culminó con el lanzamiento del primer satélite del SPG el 22 de febrero de 1978 (Bennett, 1990;). El desarrollo del sistema costó US\$10 billones de dólares y su costo de mantenimiento y operación se estima en US\$250 a US\$500 millones de dólares (Enge y Misra, 1999).

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) fue designado originalmente por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América como “Sistema de Navegación mediante Tiempo y Distancia” (*Navigation Satellite Timing and Ranging*; NAVSTAR, por sus siglas en inglés) y fue diseñado para proveer capacidad de navegación a las fuerzas militares de los Estados Unidos en aire, mar y tierra bajo cualquier condición climática.

Un beneficio colateral el Sistema ha sido su aplicación en el área civil; incluyendo recreación, control vehicular, navegación aérea y marítima y levantamientos topográficos. Aplicaciones más sofisticadas incluyen el monitoreo del movimiento de las placas de la corteza terrestre en áreas de alta sismicidad y la agricultura de precisión.

El GPS es otro ejemplo de tecnología desarrollada inicialmente con fines militares y que posteriormente ha beneficiado a la comunidad civil mundial. Los

primeros once satélites (GPS1-1 a GPS1-11), conocidos como bloque I, se utilizaron para demostrar la factibilidad del Sistema de Posicionamiento Global.

EL primer satélite del bloque I fue lanzado desde la base de la Fuerza Aérea de Vandenberg en California el 22 de febrero de 1978. En tanto que el primer satélite del bloque II fue puesto en órbita el 14 de febrero de 1989; iniciándose la fase de prueba final del sistema; los satélites del bloque 2A son una versión ligeramente mejorada de los satélites del bloque.

El contrato para construir los satélites de la segunda generación conocidos también como Bloque II (IIA y IIR) fue asignado a la compañía Rockwell International-Seal Beach Division-USA en 1983.

El primer satélite de la serie fue puesto en órbita el 14 de febrero de 1989 y el último el 9 de diciembre de 1996. Los nuevos satélites del bloque IIF iniciarán su periodo de operación en el año 2002 y entre las mejoras planeadas están relojes atómicos digitales de mayor exactitud y posiblemente con un mecanismo de auto corrección.

El sistema utiliza el principio de triangulación a partir de la posición de cada uno de los satélites que forman la constelación de NAVSTAR (efemérides) y del tiempo requerido por una señal de radio emitida por el satélite en alcanzar un receptor en Tierra. EL GPS fue diseñado para estimar posición (lat, long y elevación) en mar, tierra y aire; velocidad y tiempo; así como navegar de un sitio a otro.

En términos cuantitativos, esto se interpretó como un Sistema capaz de tener una raíz del error medio cuadrático en posición de 10m, en velocidad de 0.1m/s y en tiempo de 100 nanosegundos. Las normas de Seguridad Nacional de los Estados Unidos de América le permitían a los usuarios del sector civil posicionarse con un error de 500m en los años 70s, luego a partir de 1990 y hasta

el 1 de mayo del 2000 dicho valor se redujo a 100m (SA activa) hasta llegar en la actualidad (año 2002) a unos 5 a 10m.

En el año 1991, el gobierno de los Estados Unidos de América se comprometió formalmente con la Sociedad Internacional de Aviación Civil (ICAO, por sus siglas en Inglés) ha permitir el libre acceso y de manera gratuita al sistema GPS a nivel mundial. (<http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/edis/ifas65700.pdf>)

2.2 ¿QUÉ ES GPS?

El Global Positioning System (GPS) o Sistema de Posicionamiento Global originalmente llamado NAVSTAR, es un Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) el cual que permite determinar en todo el mundo la posición de una persona, un vehículo o una nave, con una desviación de cuatro metros. El sistema fue desarrollado e instalado, y actualmente es operado, por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

(http://www.euroresidentes.com/gps/que_es_el_gps)

2.2.1 Funcionamiento:

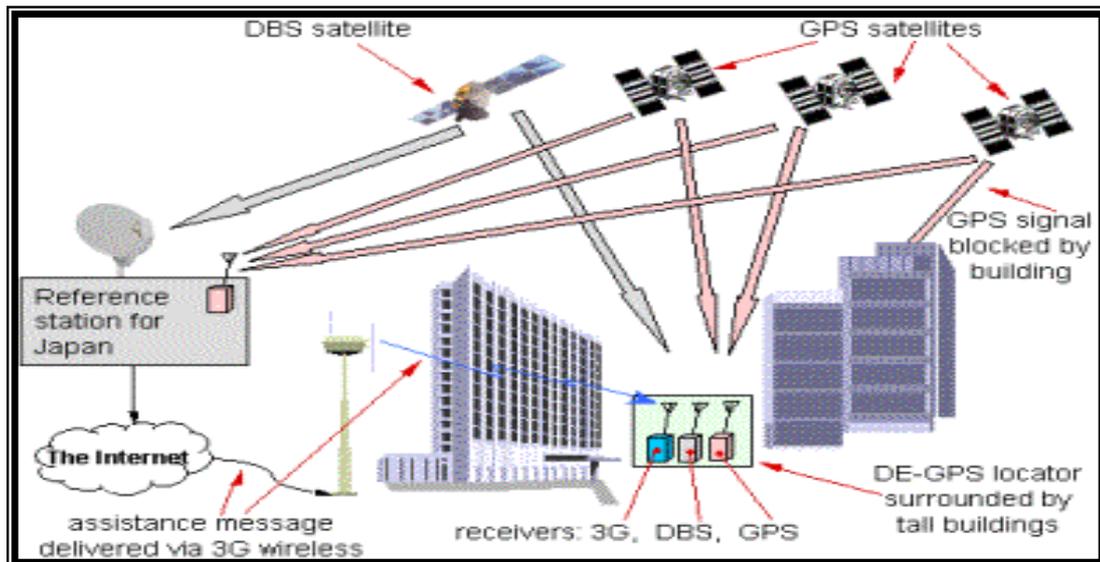
El GPS funciona mediante una red de satélites que se encuentran orbitando alrededor de la tierra. Cuando se desea determinar la posición, el aparato que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo cuatro satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la posición y el reloj de cada uno de ellos. En base a estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el retraso de las señales, es decir, la distancia al satélite. Por "triangulación" calcula la posición en que éste se encuentra.

La triangulación consiste en averiguar el ángulo de cada una de las tres señales respecto al punto de medición. Conocidos los tres ángulos se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los tres satélites. Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o coordenada reales del punto de medición.

También se consigue una exactitud extrema en el reloj del GPS, similar a la de los relojes atómicos que desde tierra sincronizan a los satélites.

(<http://www.amigosdelciclismo.com/material/gps/>)

FIGURA 4. Sistema de funcionamiento del GPS.



FUENTE: (<http://www.portalplanetasedna.com.ar/gps.htm>)

La antigua Unión Soviética tenía un sistema similar llamado GLONASS, ahora gestionado por la Federación Rusa. Actualmente la Unión Europea intenta lanzar su propio sistema de posicionamiento por satélite, denominado 'Galileo'.

2.2.2 Elementos que lo componen.

Sistema de satélites:

Formado por 21 unidades operativas y 3 de repuesto en órbita sobre la tierra a 20.200 km con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie del globo y que se abastecen de energía solar.

Estaciones terrestres:

Envían información de control a los satélites para controlar las órbitas y realizar el mantenimiento de toda la constelación.

Terminales receptores:

Es el elemento que nos indica la posición en la que estamos, conocidas también como Unidades GPS, son las que podemos adquirir en las tiendas especializadas.

2.3 FIABILIDAD DE LOS DATOS.

Debido al carácter militar del sistema GPS, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos se reserva la posibilidad de incluir un cierto grado de error aleatorio que puede variar de los 15 a los 100 metros.

Aunque actualmente no aplique tal error inducido, el GPS ofrece por sí solo una precisión aproximada de entre 0 y 15 metros.

2.4 FUENTES DE ERROR.

- Retraso de la señal en la ionosfera y troposfera.
- Señal multirruta, producida por el rebote de la señal en edificios y montañas cercanos.
- Errores de orbitales, donde los datos de la órbita del satélite no son completamente precisos.
- Número de satélites visibles.
- Geometría de los satélites visibles.
- Errores locales en el reloj del GPS.

2.5 GPS DIFERENCIAL.

GPS (Differential GPS) o GPS diferencial es un sistema que proporciona a los receptores de GPS correcciones a los datos recibidos de los satélites GPS. Estas correcciones, una vez aplicadas, proporcionan una mayor precisión en la posición calculada. (<http://www.portalplanetasedna.com.ar/gps.htm>)

2.5.1 Funcionamiento del sistema.

Una estación base en tierra, con coordenadas muy bien definidas, escucha los satélites GPS.

Calcula su posición por los datos recibidos de los satélites.

Dado que su posición está bien definida, calcula el error entre su posición verdadera y la calculada, estimando el error en cada satélite.

Se envía estas correcciones al receptor a través de algún medio.

Existen varias formas de obtener las correcciones DGPS.

Las más usadas son:

Recibidas por radio a través de algún canal preparado para ello, como el RDS en una emisora de FM.

Descargadas de Internet con una conexión inalámbrica.

Proporcionadas por algún sistema de satélites diseñado para tal efecto. En Estados Unidos existe el WAAS, en Europa el EGNOS y en Japón el MSAS, todos compatibles entre sí.

Para que las correcciones DGPS sean válidas, el receptor tiene que estar relativamente cerca de alguna estación DGPS, generalmente, a menos de mil kilómetros.

La precisión lograda puede ser de unos dos metros en latitud y longitud, y unos tres metros en altitud.

2.5.2 Aplicaciones

Navegación terrestre, marítima y aérea. Bastantes coches lo incorporan en la actualidad, siendo de especial utilidad para encontrar direcciones o indicar la situación a la grúa.

Topografía y geodesia. Localización agrícola (agricultura de precisión).

Salvamento.

Deporte, acampada y ocio.

Para enfermos y discapacitados.

Aplicaciones científicas en trabajos de campo.

Geocaching, actividad consistente en buscar "tesoros" escondidos por otros usuarios.

2.6 REFERENCIA GEOGRÁFICA DE LOS PREDIOS EN MAPA DIGITAL.

Esto significa que podremos identificar y visualizar con precisión los campos de producción en la pantalla de la computadora personal (PC). Lo anterior se logra con ayuda de programas especializados que permiten explorar fotografías aéreas digitales a escala. Entonces, estas propiedades permiten a los administradores, técnicos, agricultores, proveedores, etc. Tener en sus manos una poderosa arma para optimizar la plantación y la logística en sus operaciones agrícolas.

2.7 DETERMINACIÓN DE PROBLEMAS ESPECÍFICOS EN ÁREAS DETERMINADAS.

Problemas que podían ser deficiencia o toxicidad de algún elemento o compuesto, topografía con pendiente muy pronunciada, acides, etc, como las muestras de suelos tomadas llevan a la localización de las coordenadas, estos problemas podrán ser identificados en los mapas para ver los campos o parcelas que estén involucrados.

2.8 REGIONES QUE SE USAN EL GPS EN LA AGRICULTURA.

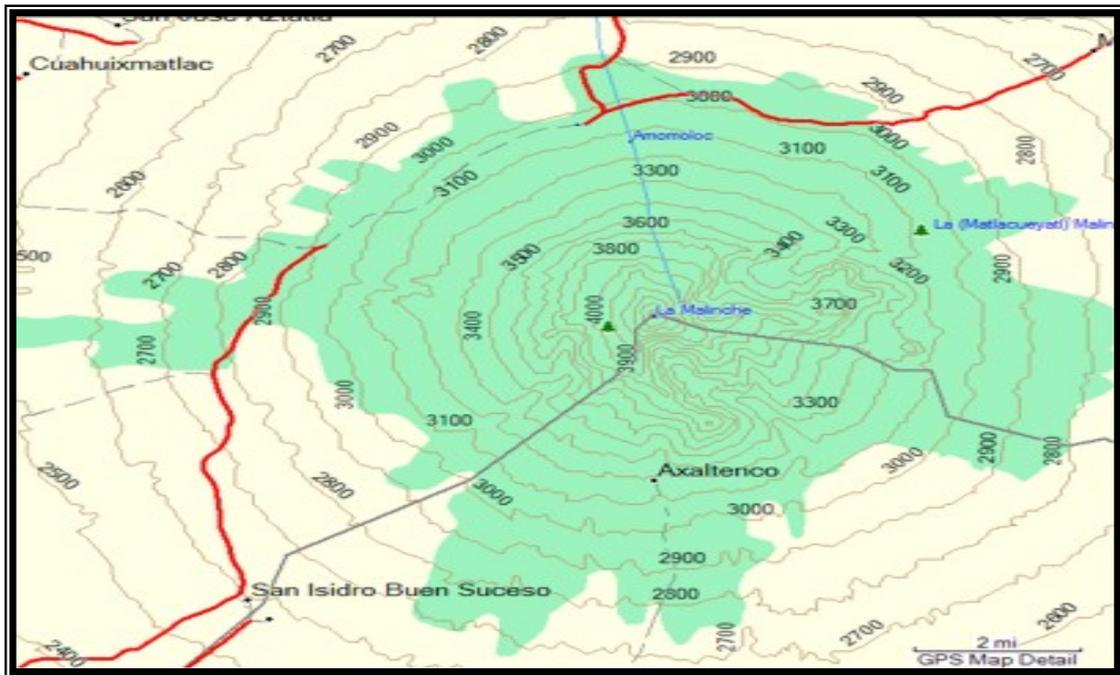
Distrito federal con cerca de 90 mil cuadras a gran detalle y precisión
Guadalajara con sus 3 municipios de Tonalá, Tlaquepaque y Zapopan. Precisión milimétrica.

- Municipio de Monterrey Nvo. León. Precisión milimétrica.
- Querétaro. Precisión milimétrica.
- Toluca estado de México. Precisión milimétrica.
- Puebla de Zaragoza. Precisión milimétrica.
- Pachuca Hidalgo. Precisión milimétrica.

2.9 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON EL (GPS).

Con este sistema de GPS obtenemos datos tanto de la ubicación como de altura con un muy pequeño margen de error, y en un tiempo impresionantemente agil tendremos resultados de perfiles, areas y contornos. Un programa de PC nos permitira vaciar estos datos sobre un plano existente tipo INEGI, y después hacer el sembrado de las construcciones y regresarlas al receptor GPS para su ubicación en el campo.

FIGURA 5. Mapa de levantamiento topográfico.



FUENTE: (<http://www.clubdelamar.org/sistemagps.htm>)

2.10 WAYPOINTS.

Los waypoints son coordenadas de puntos de referencia utilizados en la navegación basada en GPS.

En los receptores GPS se pueden almacenar las coordenadas (latitud y longitud) de un punto específico, ya sea de destino o intermedio en la ruta, para posterior referencia.

Con este tipo de aplicación (Waypoints) es posible mediante una unidad GPS en tierra y a través de un conjunto de mapas, ubicar con precisión la disponibilidad de muchos puntos de interés que inclusive estarían categorizados mediante una aplicación específica para poder realizar filtros sobre el mapa basados en dichas categorías, de forma que tendríamos una lista como la siguiente:

1. Aeropuertos (01020345)
 - 1.1 John F. Kennedy
 - 1.2 La Guardia
 - 1.3 Aeropuerto Internacional de las Américas
2. Restaurantes (02030405)
 - 2.1 Burguer King
 - 2.2 Mc Donalds
 - 2.3 Wendy's

2.11 TACO BELL.

De esta forma el usuario mediante la aplicación podría filtrar en cualquier momento el listado basado en Aeropuertos, y solo estos serían mostrados e identificados sobre el mapa utilizando un conjunto de símbolos que por lo general incluyen información como:

- Nombre del Waypoint.
- Dirección escrita del lugar y posibles teléfonos.
- Punto distintivo sobre el mapa.
- Icono que identifica al Aeropuerto de nuestro ejemplo entre otros.

De igual forma es posible sincronizar nuestros mapas que funcionen en conjunto con nuestros receptores GPS's para ubicar Waypoints en particular a lo largo de nuestra ruta y registrarlo como Waypoint nuevo de nuestra nueva constelación de puntos en el camino.

2.12 CARACTERÍSTICAS DEL NAVSTAR GPS.

Cualquier sistema satelital como NAVSTAR está constituido por tres segmentos: Segmento espacial, segmento de control, y segmento del usuario.

El segmento espacial NAVSTAR GPS está constituido por una constelación de 24 satélites localizados a 20,200 kms de la superficie de la tierra.

Estos dos sistemas tanto el ruso como el estadounidense son similares en operación y en características de los satélites. Los satélites son una parte esencial ya que estos son los que emiten constantemente las señales hacia los receptores GPS, cubriendo todo el globo terrestre.

El segmento de control consiste de cinco *estaciones de monitoreo* localizadas en Hawaii, Kwajalein, Isla Ascensión, Diego García y Colorado Springs; tres *estaciones terrenas* en Isla Ascensión, Diego García y Kwajalein, y una *Estación Maestra de Control* (MCS) localizada en la base aérea de Falcón Colorado, la cual mantiene los satélites en posición orbital y su respectiva regulación de tiempo de cada satélite. Las estaciones de monitoreo rastrean todos los satélites que se encuentran a la vista, acumulando la información monitoreada. Esta información es procesada en la MCS para determinar las órbitas de los satélites y para actualizar cada mensaje de navegación de cada satélite. Una vez actualizada esta información es transmitida a cada satélite desde las estaciones terrenas.

El segmento del usuario consiste de receptores GPS que proporcionan casi instantáneamente la posición, altitud, velocidad y tiempo preciso al usuario desde cualquier parte del mundo las 24 horas del día. Estos receptores calculan la posición por medio de señales simultáneas desde tres o más satélites que estén a la vista del receptor GPS. Los receptores varían en precios, tamaños y precisión, desde los más sencillos como los que se usan para la localización de vehículos o los más sofisticados, como los que encuentran en los tableros de los aviones.

Los precios de los receptores varían dependiendo de la precisión que estos ofrezcan, varían desde los \$100 dólares los más simples, hasta los 40,000 dls. los más sofisticados. Cuando se requiera comprar algún receptor GPS se recomienda que tenga un número adecuado de canales. Los receptores de un sólo canal buscan su posición por medio de señales emitidas constantemente hacia el espacio buscando las señales de los satélites.

Tan pronto como éstos sean localizados, el receptor proporciona cálculos de localización y la precisión es determinada por la rapidez con que el receptor pueda encontrar las señales de los satélites. Existen algunos receptores que cuentan con 5 canales, de los cuales 4 rastrean satélites para tener una constante localización por aquello de que algún canal sea bloqueado. Existen receptores aún más sofisticados que cuentan con 12 canales. Otro factor importante es la re-adquisición rápida de la señal del satélite, que es el tiempo en el que el receptor tarda en adquirir la señal y poder hacer un cálculo rápido de localización. Receptores con estas características es posible encontrarlos a un precio cercano a los \$500 dólares.

2.13 TIPOS DE SERVICIOS DE NAVSTAR GPS.

Existen dos niveles de servicio, el primero conocido como **Servicio Estándar de Localización** (SPS, Standard Positioning Service), que es un servicio de determinación de la posición y tiempo que está disponible a todos los usuarios, las veinticuatro horas del día y sin cargo directo. Intencionalmente la defensa americana introduce un error para que la exactitud de este servicio no sea muy buena. GPS provee una probabilidad de error predecible de 100 mts horizontalmente y de 156 mts verticalmente y con 340 nanosegundos en tiempo.

Por otro lado el **Servicio Preciso de Localización** (PPS, Precise Positioning Service) es un servicio de determinación de la posición y tiempo con alta precisión utilizado para usos militares y para otros usos del Gobierno de los Estados Unidos. Para usos civiles que no son del Gobierno Federal, ya sea domésticos y extranjeros pueden ser considerados solicitando un permiso especial. Este servicio provee una precisión predecible de 22 mts horizontalmente y 27.7 mts verticalmente y 200 nanosegundos en tiempo. Este servicio no está disponible a los usuarios civiles, ya que los mensajes están encriptados.

2.14 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL SATELITAL.

2.14.1 Sistema de posicionamiento global (GPS).

Proporciona la respuesta a la pregunta ¿donde estoy? Es simplemente un “ubicador de posición” para gente, sembradoras, cosechadoras, pulverizadoras, etc. La precisión de la señal gratuita GPS puede ser suficiente para algunas operaciones, pero no para otras, para lograr mayor precisión se puede pagar una corrección diferencial al GPS, lo que en conjunto se denomina DGPS.

El primer satélite GPS fue puesto en órbita el 22 de febrero de 1978 y para diciembre de dicho año ya se contaba con cuatro satélites; los cuales permitían realizar pruebas de posicionamiento en 3D en un área limitada del Planeta.

La constelación GPS está formada 24 unidades operacionales (sin incluir satélites de respaldo) con órbitas circulares de 12 horas con una inclinación de 55 grados y ubicados a una distancia de 26.560Km de la Tierra que se desplazan a una velocidad de aproximadamente 4km/s; sin embargo su posición instantánea puede estimarse con un error de unos cuantos metros con una anticipación de 24 a 48 h.

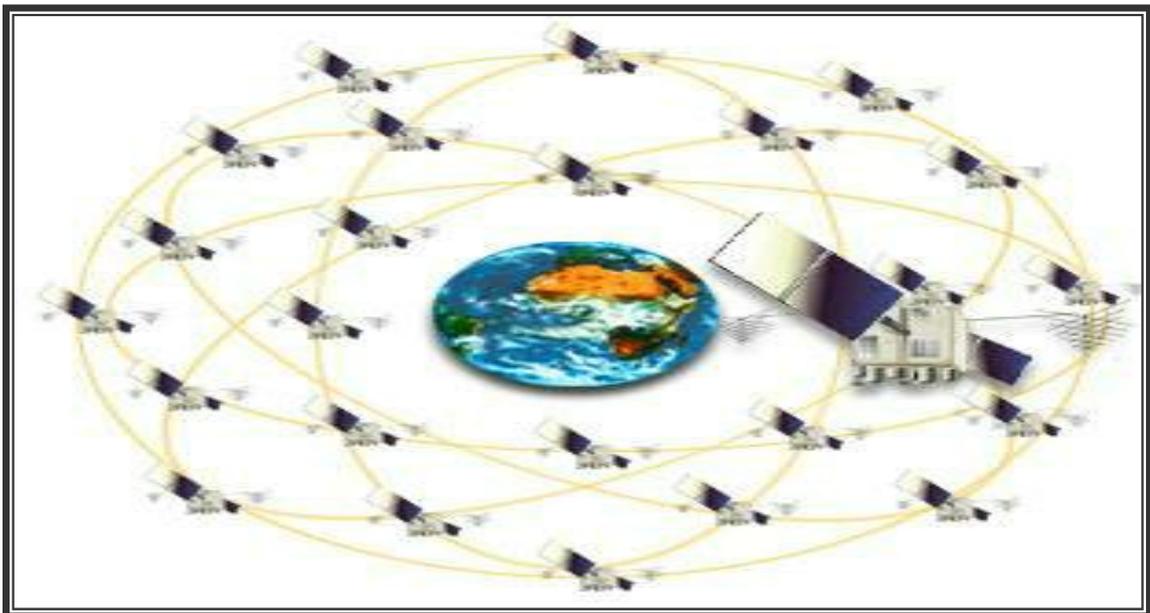
Los satélites están organizados en seis planos orbitales con cuatro satélites por órbita (Fig. 6). La constelación de 24 satélites se completó el 9 de marzo de 1994 y el sistema fue declarado operacional por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América en 1995.

Los satélites están ubicados de tal forma que el usuario puede recibir en promedio la Señal de al menos seis satélites un 100 por ciento del tiempo en cualquier parte de la Tierra. Cada satélite está equipado con dos relojes atómicos, uno de cesio y otro de rubidio, los cuales proveen frecuencias de referencia utilizadas para generar señales muy precisas y sincronizadas.

La estabilidad de la frecuencia de dichos relojes es de una parte en 10¹⁴ para el cesio y una parte en 10¹³ para rubidio; si los relojes no se corrigieran diariamente acumularían un error de 1 a 10 nanosegundos por día. Sin embargo, esta es parte de las funciones de las estaciones de control terrestre.

Dichas estaciones determinan el error de los relojes y retransmiten ajustes a cada satélite para que este a su vez lo retransmita a los receptores en Tierra.

FIGURA 6. Constelación GPS.



FUENTE: (<http://www.clubdelamar.org/sistemagps.htm>)

Los satélites están distribuidos en seis órbitas con una inclinación de 55° con respecto al ecuador y con cuatro satélites por órbita. Fuente: Enge y Misra, 1999.

El GPS está conformado por tres componentes o segmentos: el espacial (satélites), el de control (estaciones terrenas) y el usuario (receptores) (Bennett, 1990). Las 5 estaciones de tierra están distribuidas a distancias similares alrededor del ecuador (Isla Ascensión, Diego García, Kwajalainy, Hawaii y Colorado Springs) y tienen como fin monitorear el estado de los satélites (altitud,

estado de los relojes atómicos), realizar pequeños ajustes en sus órbitas y calcular las efemérides (posición) de los satélites. Esta información es transmitida a los satélites, los cuales a su vez la retransmiten a los receptores en tierra al menos una vez al día.

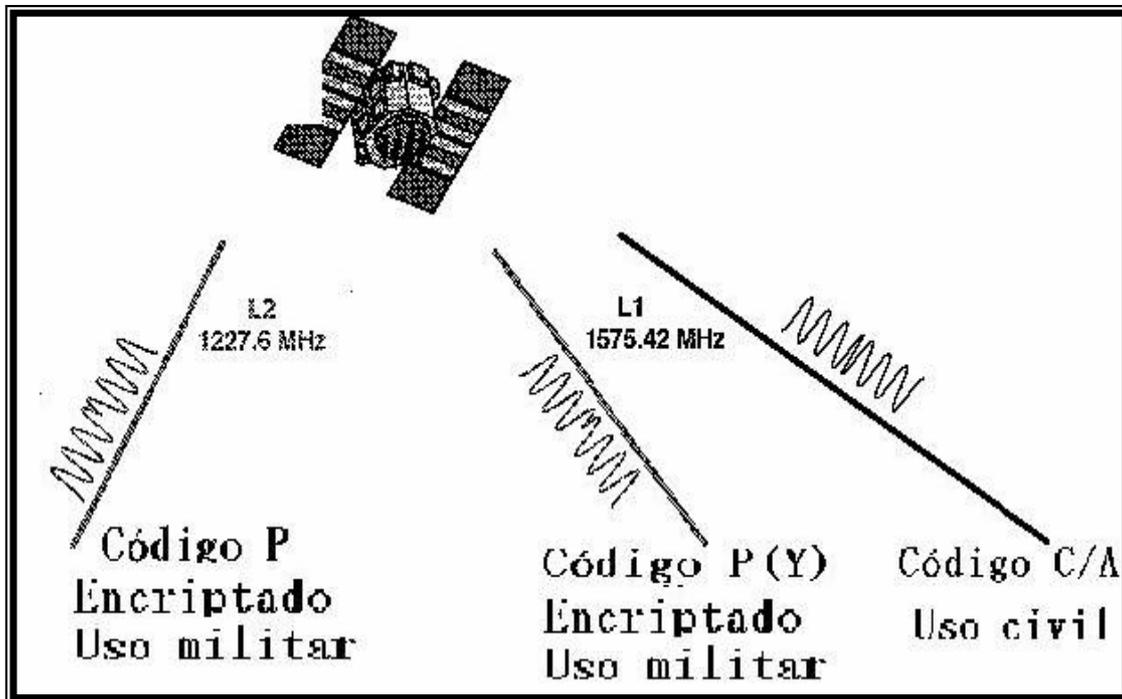
El tercer componente es el usuario quien recibe las señales enviadas por los satélites mediante el uso de un receptor equipado con una antena. El usuario del SPG tendrá acceso a 6 o más satélites en un 96% del tiempo, a 8 satélites en un 32% del tiempo y a 9 satélites un 5% del tiempo.

En muy pocas ocasiones se tiene acceso a más de 9 satélites. Si su receptor tiene capacidad de recibir señales del GPS y del sistema de la Federación Rusa denominado GLONASS (*Global Navigation Satellite Systems*) usted tendrá acceso a 9 o más satélites un 99% del tiempo. El sistema GLONASS tenía 14 satélites en operación en 1997 (Enge y Misra, 1999).

Cada satélite de la constelación GPS transmite en dos frecuencias de la banda como se muestra en la figura 6. La señal que transmite el código C/A es utilizada en forma irrestricta por el sector civil en tanto que el acceso al código P está restringido a usuarios autorizados por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América. Los usuarios civiles pueden tener utilizar el código P(Y) pero sin tener acceso al código de seguridad.

(http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_posicionamiento_global)

FIGURA 7. Constelación de frecuencia.



FUENTE: Fuente: Enge y Misra, 1999.

2.15 MONITOREO DE RENDIMIENTO Y MAPEO.

Mide y graba el rendimiento de pequeñas áreas o “sitios” dentro de lotes en forma continua, a medida que se deposita el grano. El monitor de rendimiento también estima y graba el contenido de humedad y la cantidad de grano en cada sitio. Con la ayuda de un programa de ubicación de estos sitios de sembradora y cosechadoras, con su respectivo rendimiento en cada labor.

2.16 DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN DEL GEORECEPTOR.

La ubicación de cualquier punto es posible cuando se tiene un sistema de referencia en el cual se conoce la posición exacta del punto de inicio del sistema.

El sistema de Posicionamiento Global Satelital requería de un sistema de referencia mundial fijo, o sea, de un sistema de coordenadas que permitiera

determinar la posición de cualquier punto sobre la tierra sin ambigüedad. De los sistemas disponibles, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos eligió el sistema de coordenadas geocéntrico conocido como WGS84 (World Geodetic System 1984); el cual fue creado por la antigua Agencia de Cartografía Militar de los Estados Unidos (actualmente parte de NIMA “National Imagery and Mapping Agency”).

Este sistema de referencia mundial tiene la gran ventaja de que no depende de un dato geodésico local como los sistemas de referencia propios de un país o de una región. Al utilizar datos de un georeceptor con la cartografía local, el usuario(a) debe seleccionar el dato apropiado ó realizar posteriormente la transformación de datos.

Por ejemplo, en el caso de Costa Rica si usted utiliza los datos de su receptor de GPS configurado con el datum WGS84 con la cartografía del Instituto Geográfico Nacional obtendrá un error de 274m en posicionamiento.

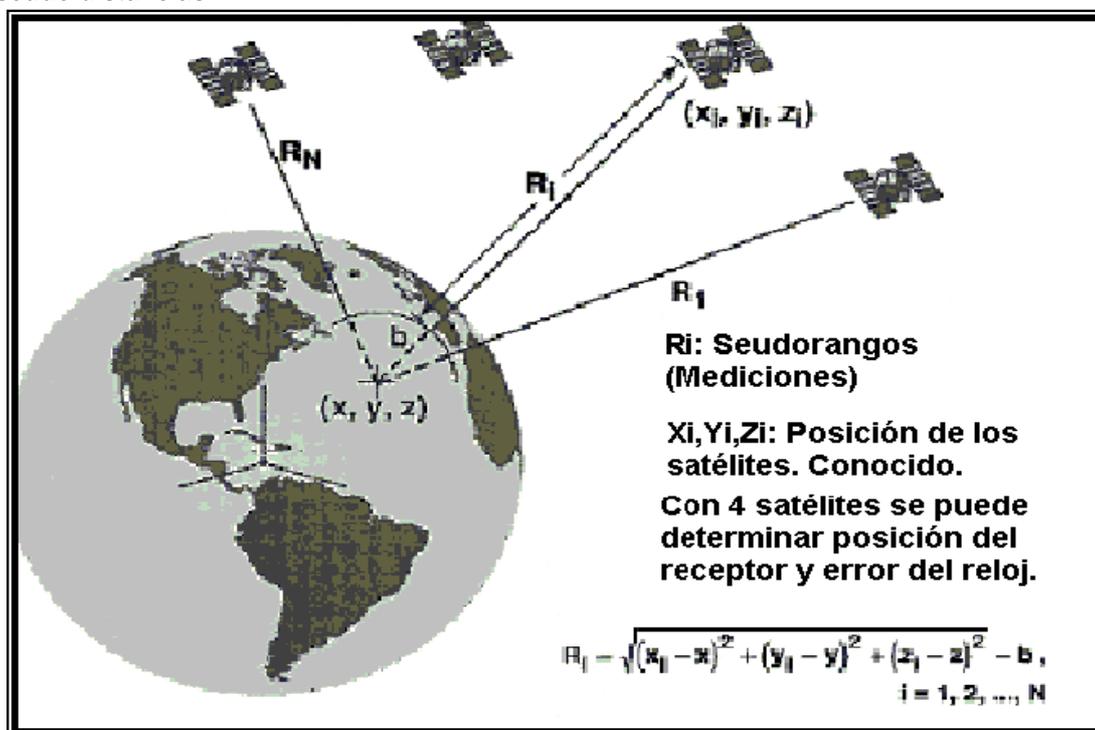
Una vez definido el sistema de referencia, solamente se requiere conocer la distancia de tres puntos de referencia para poder estimar la posición de un objeto. Bajo condiciones normales, para determinar el tiempo transcurrido entre la transmisión de una señal por un emisor y la recepción de la misma por un receptor es necesario que tanto el reloj del emisor como el del receptor estén sincronizados.

Sin embargo, este requerimiento puede obviarse en el sistema de Posicionamiento Global Satelital gracias al uso de un satélite extra al realizar la determinación de posición.

Los georeceptores no poseen relojes atómicos sino de cuarzo y por tanto su exactitud es inferior a los primeros. Esto ocasiona que se introduzca un sesgo en la medición del tiempo (lo subestima o lo sobre estima); sin embargo este error

es el mismo para todos los satélites. Debido a este error las lecturas de tiempo se denominan “seudo rangos” (el término rango indica la diferencia entre dos valores: valor final-valor inicial). Para resolver esta incógnita en el sistema se requiere utilizar un sistema de ecuaciones con 4 incógnitas: una representa la ubicación en X, otra la ubicación en Y, una tercera la elevación y la cuarta el error en el reloj del receptor. Por esta razón el usuario(a) requiere de al menos cuatro satélites para realizar una localización en 3D (X,Y,Z) (Fig. 8).

FIGURA 8. Representación idealizada de la geometría de los satélites y de la medición de pseudo distancias.



FUENTE: Enge y Misra, 1999.

CAPITULO III.

AGRICULTURA DE PRECISION:

La Agricultura de Precisión es una tecnología de información basada en el posicionamiento satelital y que consiste en obtener datos georeferenciados en los lotes para un mejor conocimiento de la variabilidad de rendimiento expresado por los cultivos en diferentes sitios como loma, media loma y bajo; se obtiene mejor respuesta en lotes que posean alta variabilidad de potencial de rendimiento ya sea por relieve, historia del lote (secuencia de cultivos y fertilizaciones anteriores, etc).

También con esta tecnología es posible ajustar la mejor dosis de fertilización para cada sitio o lote específicamente o el mejor híbrido, variedad, densidad de siembra, espaciamiento entre hileras, etc.

3.1 AGRICULTURA DE PRECISIÓN.

Esta nueva tecnología surgió en nuestro país durante el año 1995, de la mano de INTA con el apoyo inicial de algunas empresas del sector privado como D&E, Tecnocampó, Agrometal, A&T, Agrimax, Acopio Arequito, entre otras. La Agricultura de Precisión se concibió desde EE.UU. como un círculo que se retroalimentaba año a año y donde el único objetivo culminaba con la incorporación de dosis variable de insumos. O sea, se van adoptando tecnologías de información para adecuar el manejo de suelos y cultivos a la variabilidad natural y/o inducida presente dentro del lote.

Dentro de esta tecnología se cuenta con herramientas claves dentro del sistema, como lo son el GPS y la electrónica, medios para recopilar datos en tiempo real sobre lo que sucede o sucedió en un cultivo.

En el período posterior a la devaluación -año 2001/02-, las empresas desarrollistas de electrónica, hidráulica y de maquinarias de alta complejidad, iniciaron un proceso de fortalecimiento con resultados positivos en lo que respecta a tecnología de control y automatización de maquinaria agrícola nacional. Como consecuencia, muchas empresas pymes se fortalecieron en el desarrollo de sistemas controladores, entre los que figuran los monitores de siembra, registradores de eventos o actividades (registran un mapa de velocidad, día de cosecha y hora del día en que se realiza esa actividad), banderilleros satelitales, y otros.

3.2 HERRAMIENTAS DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN.

Dentro de las herramientas de Agricultura de Precisión, los mayores desarrollos se vieron en los monitores para dosis variable, y en especial, en la realización de un monitor navegador y actuador de dosis variable que permite cambiar hasta tres productos independientemente durante la siembra, sobre una recomendación que se carga previamente desde la computadora. También existen monitores de industria nacional que pueden obtener un resultado similar en pulverizadoras, variando el fertilizante líquido según prescripción.

Algunas de las herramientas que posee la Agricultura de Precisión, aunque vale la pena destacar que Argentina dispone de todas las herramientas que se encuentran disponibles en el resto del mundo: los software, sensores remotos (fotografía aérea, imágenes satelitales, etc.), sistemas de guía (como lo son el auto guía y el volante hidráulico), NIRS sensores en tiempo real de proteína en grano (se mide en la noria de la cosechadora), Green Seeker, N sensor (sensores que se basan en leer biomasa e índice verde del cultivo y tienen la posibilidad de hacer la aplicación variable de fertilizante nitrogenado a medida que atraviesa la

variabilidad expresada en el cultivo). Estas herramientas, pueden llegar a ser algunas más costosas que otras y con mayor o menor aplicación que otras a campo, considerando el costo de la inversión más la información base que se posee en nuestro país.

3.2.1 Controladores:

1. Monitores de siembra.
2. Monitores de pulverización.
3. Monitores registradores controladores de siembra, pulverización, cosecha y cualquier otra actividad que requiera del control de velocidad, del caudal de pulverización, hora y fecha de realización de las actividades.
4. Monitores de rendimiento.
5. GPS, banderilleros satelitales y autoguía.

3.2.2 Para obtención de datos útiles con el objeto de tomar decisiones:

1. Monitores de rendimiento.
2. Monitores de proteína, aceite, grasa y humedad de grano.
3. Sensores en tiempo real de biomasa e índice verde del cultivo y rastras de conductividad eléctrica.
4. Fotografías aéreas e imágenes satelitales para obtener índice verde.

3.2.3 Para análisis de datos y realización de recomendaciones (dosis variable de insumos):

1. Software.
2. Navegadores específicos y palm top.
3. Controladores variadores de densidades de semilla y dosis de fertilizantes.

3.3 EVOLUCIÓN DE VENTAS DE HERRAMIENTAS DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN.

Si tenemos en cuenta la cantidad de herramientas que existen en el mercado de esta tecnología que se denomina Agricultura de Precisión, y que todas estas están destinadas a realizar un trabajo que brindará mayor calidad, control, registro de datos y mayor precisión a la hora de definir diferentes alternativas de manejo o decisiones sobre qué se podrá realizar a futuro, podemos definirla como una herramienta que engloba muchas especialidades, con las cuales, haciéndolas interactuar, podría mejorarse el manejo de los cultivos, la productividad y la conservación del ambiente.

Cuadro 1. Evolución de las ventas de algunas de las herramientas de Agricultura de Precisión.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Monitores de rendimiento TOTAL	50	200	300	450	560	600	850	1300	1500
Monitores de rendimiento con GPS	25	75	155	270	400	420	600	900	
Monitores de rendimiento sin GPS	25	125	145	180	160	180	250	400	
DV en sembradoras y fertilizadoras	3	4	5	6	10	12	25	40	120
Banderillero satelital avión	35	60	100	160	200	230	300	450	470
Banderillero satelital pulverizadora	0	10	70	200	400	500	2000	2600	3100
Sensores de N en tiempo real	0	0	2	2	4	5	6	7	7
Auto Pilot (piloto automático)	0	0	0	0	0	0	0	3	20

FUENTE: INTA Manfredi 2006

3.3.1 Monitor de rendimiento.

Podría colaborar en la recolección de datos y dar información sobre el rendimiento de los lotes y de cada ambiente dentro de cada lote; a su vez, podría estar definiendo zonas para caracterizarlas y conocer con mayor precisión las causas de la variabilidad de los rendimientos. También estos monitores tienen una función en pantalla que nos permite ver el flujo de granos, medido en toneladas hora, que ingresan a la tolva de la cosechadora, lo cual, colaboraría a reducir pérdidas de cosecha ya que cada cosechadora posee una capacidad máxima de

procesado de material, y por encima de esta capacidad, la máquina comienza a ser deficiente en la trilla.

El monitor también entrega información sobre ensayos comparativos de rendimiento, fertilizantes aplicados, variedades de soja utilizadas, velocidades de siembra, entre otros datos que seguramente ayudan a tomar decisiones importantes para la próxima campaña.

3.3.2 Monitores de proteína, aceite, grasa y humedad.

El caso específico de la proteína en grano, es de suma importancia en trigo, cebada y también se tiene la posibilidad de medirlo en maíz y soja. Esta medición facilitaría la segregación de los granos por calidad a nivel de lote, pudiendo almacenar el grano en silos separados según el porcentaje de proteína que posea, lo cual, mejoraría las condiciones de comercialización para los productores y para la industria, un beneficio en conjunto. Secuencia propuesta: mapeo previo con la cosechadora (cosechando el 5% del lote), mapa interpolado de calidad, diseño del mapa de cosecha, cosecha por zonas con GPS y segregación de la calidad.

3.3.3 Monitores de siembra.

Estos monitores son controladores de siembra, y mediante alarmas gráficas y sonoras, evitan fallas de siembra. Este sistema informa al tractorista sobre el funcionamiento de cada hilera de siembra, si la sembradora tiró o no semilla, y en qué porcentaje menos de semilla dosificó cada uno de los surcos. Estos monitores brindan información muy valiosa, con la cual, posibilita construir mapas de siembra que muestran lo sucedido en el campo.

3.3.4 Controladores y/o actuadores.

Son productos que en un principio fueron totalmente importados, y que actualmente han llegado a un nivel muy alto de desarrollo en nuestro país, superando incluso, en algunos casos, a los importados en cuanto a prestaciones y precios. Estos productos logran distribuir, mediante una recomendación de dosis

de fertilizantes y densidad de siembra, los insumos variables según la necesidad de cada sitio en particular, evitando de esta manera la sobredosificación o la subdosificación, lo que permitiría a la vez aumentar el resultado económico en algunos casos, aumentar los rendimientos en otros, y en otros casos evitar la contaminación.

3.3.5 Software específico.

El desarrollo de software es muy importante, dado que, mediante la potencialidad de estos programas, se pueden analizar resultados de una manera sencilla y fácil. La potencialidad de estos programas de trabajar con datos georreferenciados y asociarlos a programas estadísticos, sometiendo esos datos a análisis deseados, es lo que en este momento brinda un aval de los resultados obtenidos. Esta herramienta permite que el usuario tenga a disposición una potencialidad de análisis muy certera.

3.3.6 Sensores en tiempo real.

Estas herramientas poseen un gran futuro, aunque por el momento, se carecen de datos acerca de cómo responde un cultivo a las diferentes combinaciones de tipos de suelo y porcentajes de micro y macro nutrientes disponibles, como así también, a las diferentes condiciones de variabilidades existentes.

3.3.7 Imágenes satelitales y fotografías digitales.

En este rubro queda mucho por trabajar; de todos modos, con los datos que se manejan hasta el momento, podrían correlacionarse grandes patrones de variabilidad como, dato inicial para la caracterización de zonas de manejo, y diferencias en índice verde y biomasa de los cultivos.

3.3.8 Banderilleros satelitales.

El uso de los banderilleros satelitales, tanto en aviones como en pulverizadoras autopropulsadas, no tiene en este momento ningún factor negativo para ser analizado. El banderillero es muy útil, ya que no dependemos del horario para aplicaciones de algunos productos químicos y/o fertilizantes, y a su vez, se evitan problemas de contaminación o intoxicaciones, al evitar el trabajo con personas como marcadores de cada pasada.

3.3.9 Novedades revolucionarias en materia de automatización.

En Europa, hoy es muy común ver máquinas aplicadoras de fertilizantes al voleo o con bárrales, al igual que pulverizadores, que pueden cambiar el ancho de labor en forma inteligente, evitando aplicar sobredosis, y/o dejar zonas con subdosis o fallas de aplicaciones, lo cual, genera disminución del potencial productivo de un cultivo, incremento de costos de insumos y la contaminación del ambiente.

Estas nuevas pulverizadoras y fertilizadoras en concreto definen mediante una autoguía satelital, y de acuerdo con el ancho de franja, el lugar exacto por donde debe pasar la máquina, que de hecho lo hace sola; el operario sólo la conduce en cabeceras o frente a un obstáculo. El programa con la ayuda del GPS, graba donde aplicó, y al generarse alguna alternativa de superposición por obstáculos, por formas irregulares del lote o en cabeceras, cambia automáticamente el ancho de franja, aplicando sólo en los lugares libres de aplicación previa, gran adelanto de la electrónica electromecánica informativa con GPS. No es Agricultura de Precisión pura; es aplicación precisa y eficiente.

En Hannover y en EIMA (Nov.2005), este tipo de máquinas inteligentes ganaron precisamente los mejores premios a las innovaciones electrónicas. Diferentes marcas y empresas de tecnología de software, aplicada a la agricultura, realizaron convenios de sus innovaciones con John Deere, Claas, Case/New Holland, Agco, Argo y algunas otras como Amazone, Rauch, Accord, Hardi, Teejet, Arag, etc. para mostrar máquinas capaces de pensar por el operario y

ejecutar, en tiempo real regulaciones de la máquina.
(http://www.engormix.com/s_articles_view.asp?art=612)

3.4 BENEFICIOS.

Los beneficios se pueden resumir valorando el análisis y diagnóstico posible de realizar partiendo de más de 800 datos de rendimiento por hectárea versus el análisis partiendo del promedio de rendimiento de todo un lote que ofrece la agricultura tradicional sin la ayuda del monitor de rendimiento satelital.

Los datos recogidos a través de las diferentes capas de información posibles como son: mapas de rendimiento de cultivos anteriores, fotografía aérea, mapas topográficos, imágenes satelitales, experiencias anteriores del productor o bien mapas de suelo de áreas homogéneas, todo ello nos permite definir dentro de un lote sitios con potencialidad de rendimiento muy diferentes, bien definidas.

Si el área y las diferencias de rendimiento justifican agrónomica y económicamente el tratamiento diferencial de los insumos, se comienza con la segunda etapa que consiste en la caracterización de los ambientes y posterior diagnóstico de la aplicación de insumos (semilla y fertilizante) en forma variable, estos cambios de dosis y densidades pueden lograrse dado que existen en el mercado navegadores - actuadores y GPS que posibilitan realizar esos cambios en tiempo real siguiendo prescripciones agronómicas previamente cargadas en máquinas inteligentes.

La aplicación variable de insumos siguiendo una prescripción agronómica puede realizarse en forma automática con el uso del GPS o en forma manual por medio de un operario conocedor de la variabilidad espacial del lote.

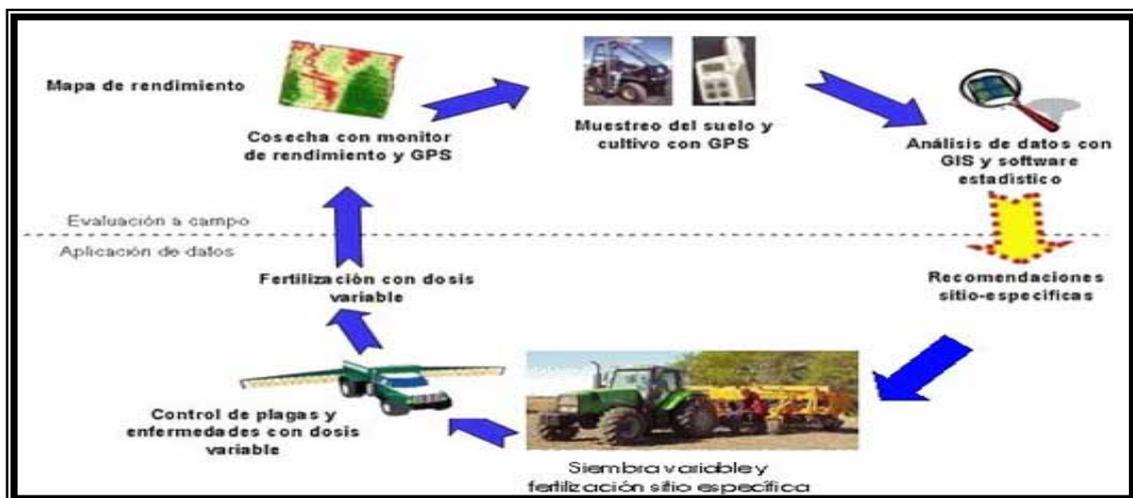
Desde el año 1998 un equipo constituido por INTA, Agrometal, D&E y Tecnocampo trabajaron en forma conjunta para adaptar y desarrollar un equipamiento para sembradora variable guiada satelitalmente y luego de 4 años de trabajo intenso, lograron el funcionamiento correcto de todo el equipamiento necesario para realizar siembra variable de semilla y fertilizante en forma simultánea copiando una prescripción a través del posicionamiento satelital GPS (origen de equipo EE.UU).

3.5 USO DE LA ELECTRÓNICA.

La electrónica aplicada en controles y comandos permite reducir numerosos errores de operación independientemente del tamaño de los equipos, con lo cual se logran aumentos de productividad que se suman al efecto de la mayor escala. Asimismo los recursos aportados por la agricultura de precisión, concretamente la navegación satelital y la informática, pueden incrementar en forma sustancial la eficiencia en el manejo de insumos y reducir el tiempo de operación.

Un ejemplo de una empresa que desarrolló el equipamiento necesario es la firma Verión que en convenio con Agrometal creó un equipo de avanzada tecnología que puede variar de manera simultanea e independiente la densidad de siembra y la dosis de 2 tipos de fertilizante (tanto en la línea como al costado) mediante un monitor con GPS que trabaja como navegador y actuador de 3 motores hidráulicos permitiendo la triple variación de insumos (semilla y fertilizante en la línea y al costado).

FIGURA 9. Pasos de la agricultura de precisión.



FUENTE:(<http://www.agriculturadeprecision.org/siembCoseAlma/Sembradora%20IOM%20Inteligente.htm>)

Este esquema de los pasos de la Agricultura de Precisión es el ideal para incorporar toda la tecnología a disposición, pero no quiere decir que sea el único

camino para insertarse en esta tecnología. Primero habría que conocer bien los lotes con los que nosotros deseamos trabajar y la variabilidad que poseen.

Si el manejo de la variabilidad justifica económicamente la inversión probablemente este círculo termine con la aplicación variable de insumos. Pero si la variabilidad de un lote o campo no justifica el manejo variable de los insumos el productor, asesor o encargado del campo puede hacer uso del mapa de rendimiento que nos ayuda a tomar decisiones de manejo de los resultados que surgen de analizar ensayos que pueden realizarse en el campo como lo son: Ensayos de híbridos, variedades, dosis de fertilizantes, cuerpos de siembra, velocidad de siembra, tipo, momento y dosis de agroquímicos, etc o sino como sistema de control de las actividades de siembra, fertilización, pulverización, cosecha, etc.

La Agricultura de Precisión no discrimina futuros adoptantes, pero si los posibles adoptantes deberán conocer en que paso de este círculo deberán situarse o poner mayor énfasis.

3.6 Resultados, presente y futuro de la agricultura de precisión.

En los Estados Unidos existen explotaciones que llevan ya bastantes años aplicando estas técnicas y también son muchas las experiencias que se están llevando a cabo a nivel europeo. Los resultados no son plenamente extrapolares a nuestro país, pero confirman la potencialidad del sistema y permiten pensar que en un plazo más o menos largo serán muchas las explotaciones que manejen estas tecnologías.

Pero de momento, pensando en el agricultor de nuestras tierras, tenemos que hacer algunas puntualizaciones, que por otra parte son también aplicables frente a cualquier cambio:

1. El agricultor profesional cultiva en general bastante bien, aunque naturalmente no lo hace de la mejor forma posible.

2. Tampoco el técnico agrario es óptimo en sus conclusiones y para hacer un buen trabajo necesita disponer de mucha información bien elaborada (mapas temáticos, datos de la maquinaria, etc.).
3. Como en la agricultura intervienen muchos factores que distorsionan los resultados, es necesario manejar la información procedente de varios años y con cultivos diferentes.
4. Las máquinas de la Agricultura de Precisión con dosificadores automáticos y controles electrónicos son caras y no siempre están disponibles.
5. Los aperos antiguos que siguen funcionando bien, cumplen perfectamente su labor y tienen que amortizarse.

La Agricultura de Precisión requiere de una importante estructura multidisciplinar a nivel técnico (químicos, agrícolas, especialistas en GPS, informática, GIS, etc.) a las que muy pocas explotaciones tiene acceso. No obstante de cara al futuro es perfectamente posible que las asociaciones, cooperativas y organizaciones agrarias desarrollen este tipo de estructuras o bien que empresas privadas ofrezcan servicios de esta naturaleza.

3.7 Otras aplicaciones del GPS en la agricultura.

Puesto que la actividad agraria se desarrolla sobre grandes extensiones de terreno, resulta lógico que una técnica de posicionamiento en tiempo real, lo suficientemente precisa, económica y de fácil manejo, como es el DGPS, tiene que encontrar una gran cantidad de aplicaciones. Citamos algunas de ellas:

1. Apertura de zanjas y localización posterior de tuberías, drenajes, etc.
2. Ayudas para colocar con precisión las tuberías de riego en un sistema de cobertura total y para su exacta localización al retirarlas.
3. Colocación de señales en el terreno para facilitar la aplicación de tratamientos aéreos o terrestres.
4. Empleo de sistemas informatizados de navegación en los que se introducen los datos de la parcela y del apero (por ejemplo un pulverizador de gran anchura de trabajo), y donde una vez prefijada la trayectoria que ha de

seguir el tractor, un panel en la cabina del operario alimentada por un DGPS informa acerca de la posición actual y de la desviación con respecto a la trayectoria idónea. Sus aplicaciones están más enfocadas dentro de los tratamientos aéreos, pero puede ser muy útil en los terrestres cuando la anchura de trabajo del apero y el estado del cultivo son tales que no se ve la rodada que deja la pasada anterior.

5. Pilotos automáticos para guiar un artefacto por el campo sin la presencia del conductor ni de ningún tipo de guía.

De momento se han aplicado estos sistemas ya a nivel comercial en los pivots longitudinales. Los primeros modelos funcionaban siguiendo una guía a modo de rail, luego se sustituyó dicha guía por un cable enterrado y un detector electromagnético de su posición y ahora se puede eliminar todo tipo de referencia en el suelo y sustituirla por un GPS. Como la velocidad de un pivot es muy pequeña (normalmente entre 1 y 15 metros a la hora) y la trayectoria es recta, se dispone de muchos puntos de referencia y el GPS controla muy bien la trayectoria.

Más complicado es el control automático de un tractor sin la presencia del conductor. Aquí la velocidad es mucho mayor (entre 4 y 10 Km por hora), influye la forma de la parcela, la manera de hacer el laboreo y el propio apero. Nosotros estamos trabajando en esta línea de investigación y dejamos ya para un próximo artículo un informe sobre este tema.

CAPITULO IV.

SEMBRADORA CON EL GPS:

El sistema está constituido por una unidad central de procesamiento electrónico implementado con tecnología FPGA (*Field Programmable Gate Array*). A partir del censado de los tiempos entre semillas, de la velocidad de desplazamiento de la sembradora, de información sobre las vibraciones de la máquina y del uso de un modelo estadístico del proceso de siembra, se infiere la ubicación final de la semilla en el suelo. La información elaborada es georreferenciada conformando un "mapa de siembra" (GIS - Sistema de Información Geográfico - de siembra).

El prototipo se integra con diversos elementos a instalar sobre sembradoras neumáticas de granos gruesos, a saber:

- sensores electrónicos de semillas ubicados adecuadamente en los tubos de descarga de cada cuerpo de siembra.
- el sensor de velocidad de desplazamiento de la sembradora.
- sensores de vibración.
- el GPS (Global Position System) para georreferenciar la máquina.
- la unidad central de procesamiento e interfases de usuario, emplazados sobre el tractor.

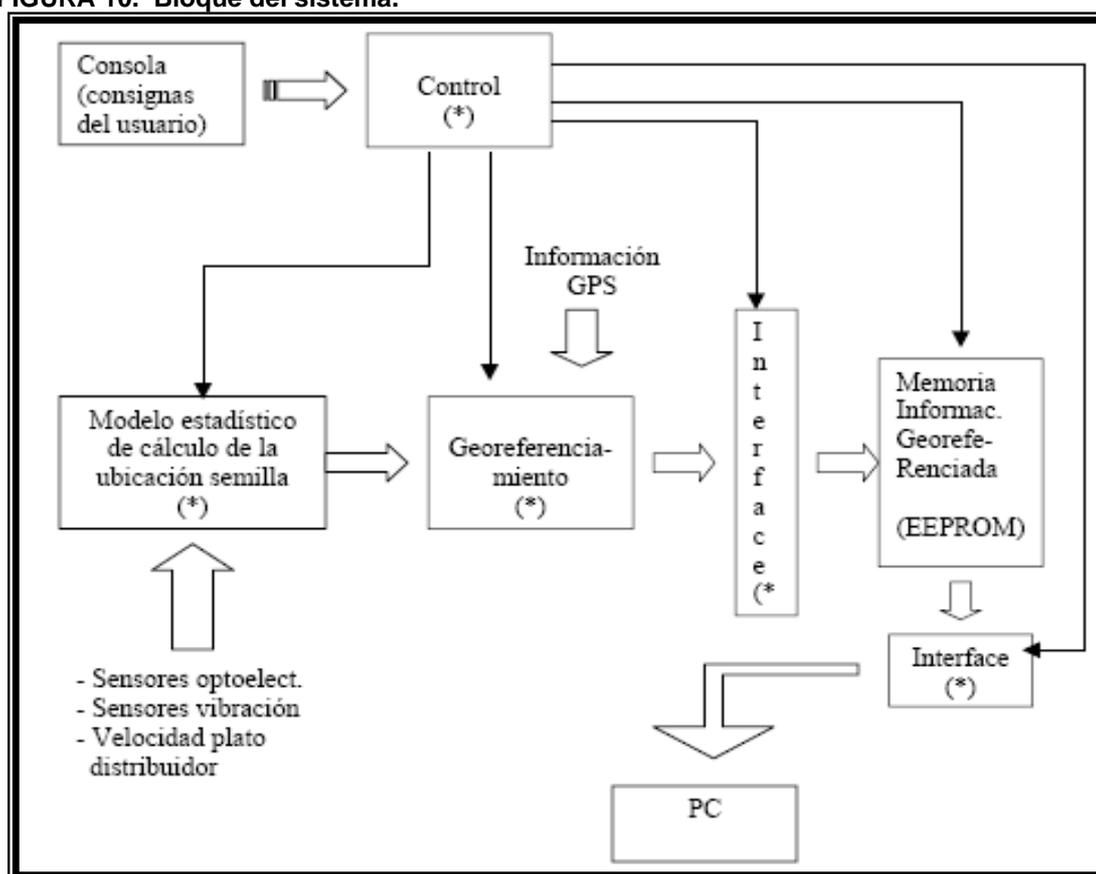
La información recolectada es almacenada en una EEPROM serie y bajada a PC por un puerto serie para su posterior utilización y/o visualización por medio de software comercial para manejo de GIS.

4.1 SISTEMA DE MAPEO DE SIEMBRA.

El Sistema de Mapa de Siembra (SMS), incorporado en la máquina sembradora, permite testear la calidad del planteo. Asimismo la incorporación del sistema referido brinda información estratégica para las nuevas tecnologías emergentes, relacionadas con la agricultura de precisión (mapas de rinde, mapas físico-químicos del suelo, etc. En definitiva, esta innovación tecnológica posibilita:

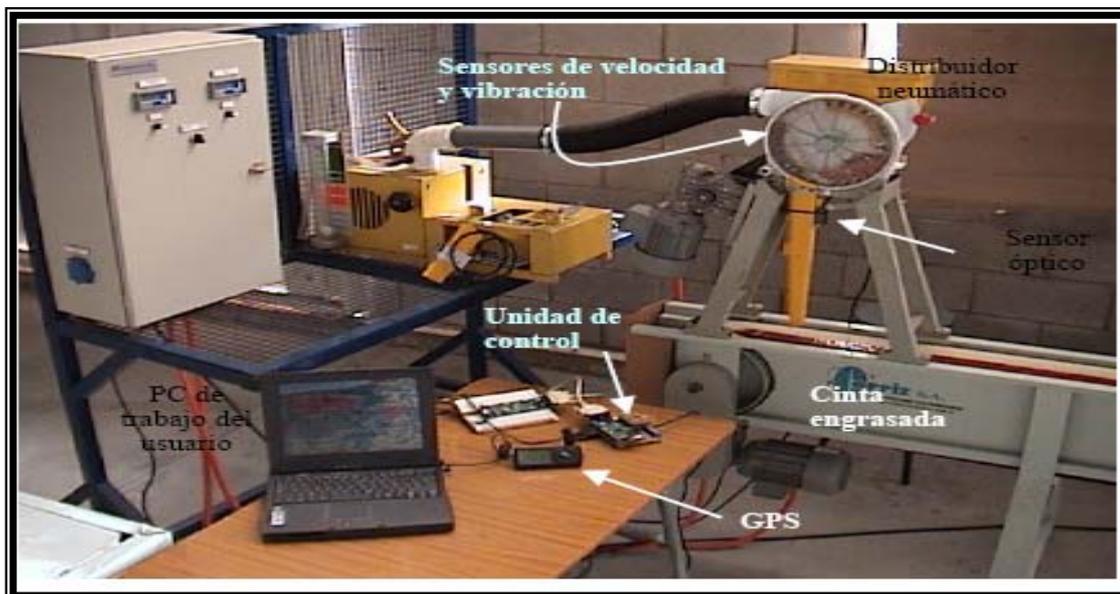
- mejorar la prestación de los servicios de la máquina sembradora.
- abrir nuevos mercados, en el orden nacional e internacional.
- mejorar la producción agrícola.

FIGURA 10. Bloque del sistema.



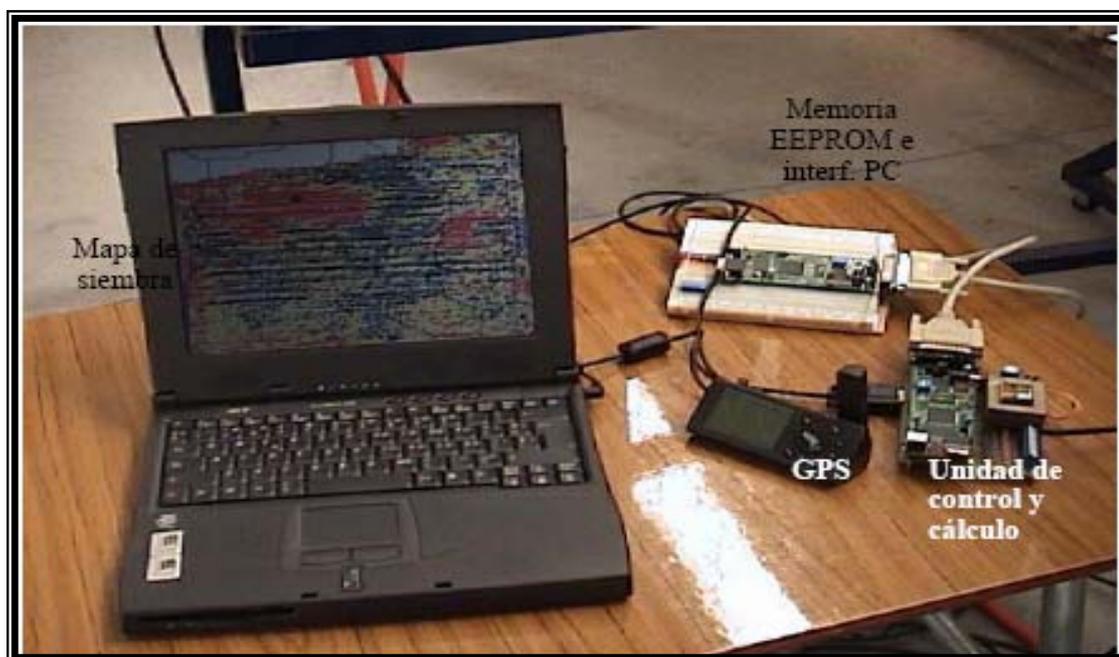
FUENTE: (http://www.engormix.com/images/s_articles/sembradora_inteligente02.gif)

FIGURA 11. Imagen del prototipo montado sobre el banco de pruebas del distribuidor de una máquina sembradora neumática.



FUENTE: (http://www.engormix.com/images/s_articles/sembradora_inteligente02.gif)

FIGURA 12. Imagen del prototipo y su interface con una PC, donde se visualiza un mapa de siembra



FUENTE: (http://www.engormix.com/images/s_articles/sembradora_inteligente02.gif)

4.2 SEMBRADORA IOM INTELIGENTE VERIÓN - AGROMETAL - INTA (TRIPLE DOSIFICACIÓN VARIABLE).

Esta sembradora que está siendo evaluada por el INTA Manfredi (Proyecto Agricultura de Precisión) posee diferencias respecto de otras sembradoras en cuanto a la forma de variar la densidad de siembra o dosis de fertilizante.

Cuadro 2. Diferencias de sembradoras en cuanto a la forma de variar la densidad de siembra o dosis de fertilizante.

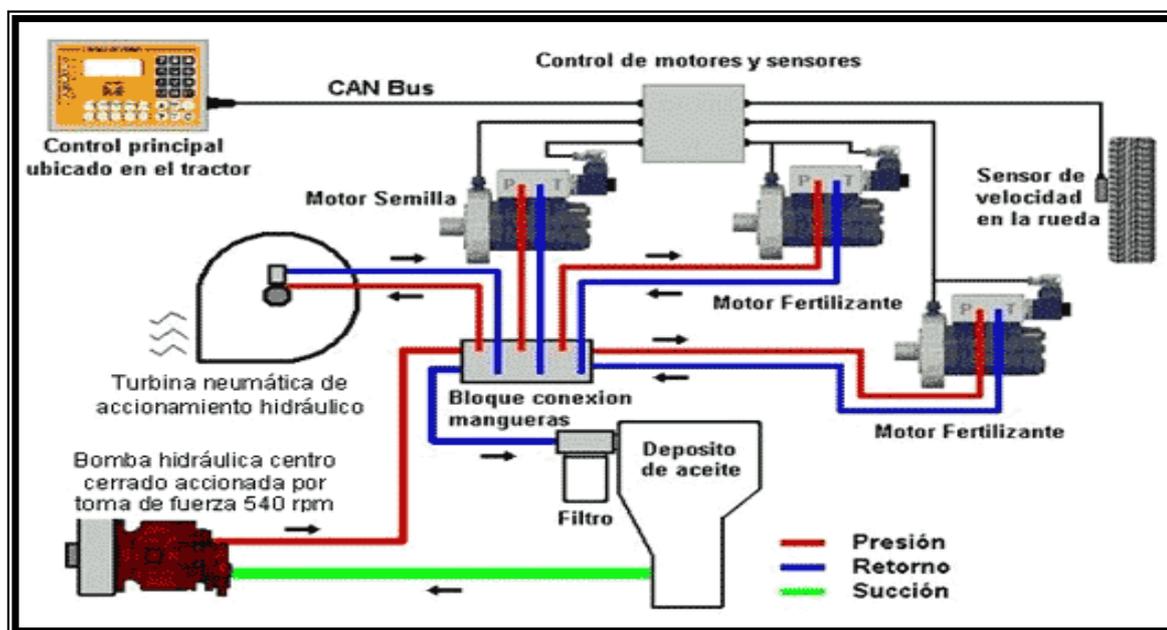
	Sembradora convencional	Agromental sembradora Mega IOM
Variación de la dosis y densidad	Por medio de cajas de cambio	Por medio de un monitor digital y motor hidraulico independiente para cada insumo (semilla fertilizante en la linea y en el costado)
Medicion de la velocidad	Por rueda	Por sensor ubicado en la rueda
Dosis variable con GPS	No tiene opción	Posee GPS que ubica a la maquina en cada lugar del lote pudiendo hacer los cambios de dosis y densidad en tiempo real.
Ventajas	Su uso es conocido por cualquier operario	Los cambios de dosis y densidades se hacen desde de la cabina del tractor e ingresando los valores de manera muy sencilla. No posee caja de cambio para variar la dosis y densidad. El tren sinematico es mas directo, disminulle un 70% de las cadenas que como se sabe distorsionan el espaciamiento teórico de la semilla.

Este equipamiento no requiere diseño ni construcciones especiales en la sembradora. En este caso el equipamiento está montado sobre una sembradora Agrometal TX Mega 12/52.5 equipada con doble fertilización en la línea y al costado 2x2. Distribuidor neumático de semilla por succión, con accionamiento de turbina en forma hidráulica por bomba acoplada a la TDP. Distribuidor de semilla/tren cinemático, motor hidráulico variable. El sistema de fertilización es doble dosificación con distribuidor tipo chevron; tren cinemático comandado por motor hidráulico. El resto de la sembradora es igual al resto de las Agrometal Mega convencionales y el incremento de costo no es significativo.

(http://www.engormix.com/images/s_articles/sembradora_inteligente02.gif)

4.3 CIRCUITO DEL SISTEMA DE LA SEMBRADORA IOM AGROMETAL - VERION INTELIGENTE

FIGURA 13. Esquema de circuito.



FUENTE: (www.cosechaypostcosecha.org)

4.3.1 Funcionamiento

La programación se inicia confeccionando la prescripción de semilla y/o fertilizante variable dentro del lote a sembrar con sus correspondientes coordenadas GPS de acuerdo a la información disponible y al conocimiento agronómico del asesor. Para ello se pueden utilizar diferentes software que puedan leer archivos Excel y realizar archivos con puntos georeferenciados (latitud y longitud) que posean los cambios de dosis y densidad correspondientes. Luego esa información se ingresa a un programita específico de Verión llamado MapEdit que es muy sencillo y es el que va a leer esa prescripción.

Prescripción es lo que el asesor indica que tiene que ir dosificando la sembradora en cada sitio del lote. El último paso consiste en ingresar los datos elaborados de la computadora al monitor que va en la cabina del tractor.

Calibración todo el equipo posee una calibración previa en forma estática, para cargar las constantes en el monitor. Estas constantes son la cantidad de semilla a poner en 10 m lineales de surco y el peso del fertilizante arrojado en una determinada cantidad de vueltas que da el tren cinemático de la sembradora.

También se cargan datos de lote, datos específicos de la máquina como lo son cantidad de surcos, distancia entre surcos, número de agujeros que posee la placa de semilla, factor de corrección de rueda de donde el sensor de velocidad va a medir la velocidad (si la rueda esta más desinflada o se hunde más se cambia el factor que varía en cuanto se vea disminuido el diámetro Ej. 0,9 o 0,8). Por último se realiza un tes de semilla y fertilizante poniendo la velocidad en modo simulador.

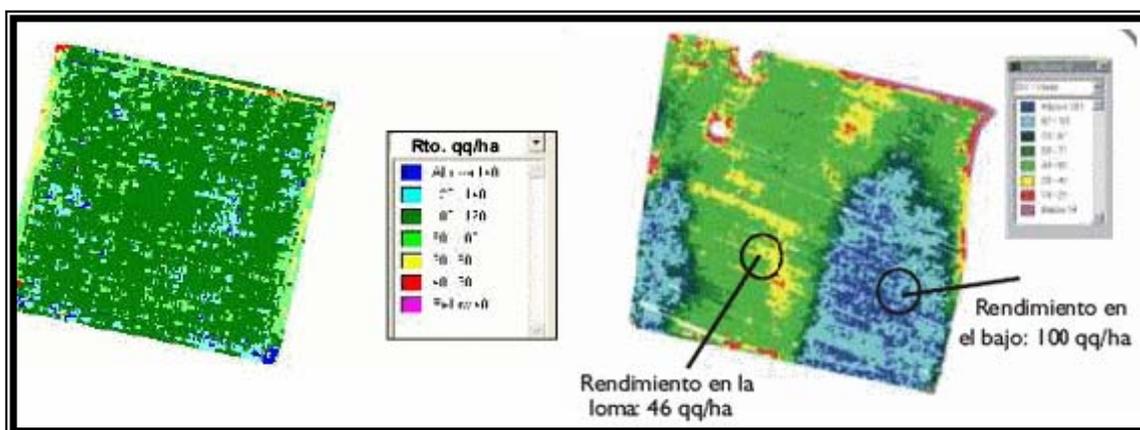
Además el monitor posee alarma que indica si la batería esta baja, si el giro de los motores tanto de semilla como de fertilizantes es alto o bajo, alarma de giro de la rueda de velocidad, alarma de válvulas de semilla y / o fertilizante en posición máxima o mínima, también si la sembradora está en posición de siembra o levantada y por último también entrega información sobre la comunicación eléctrica con el control ubicado en la sembradora.
(www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/ag...)

4.3.2 Importancia de la variabilidad y propuestas acerca de cómo manejarla

Respecto a las diferentes situaciones que se suelen dar a campo, pueden mencionarse diferencias a la hora de obtener información de ensayos, según el grado de variabilidad que exprese un lote.

Por ejemplo, hay campos que no poseen variabilidad de suelos, relieve, ni de diferentes tipos de manejos anteriores. En estos campos, no deberíamos tener como objetivo manejarlos a futuro con insumos variables, dado que las inversiones realizadas en esa maquinaria, para hacer las variaciones, difícilmente se recuperen económicamente (Fig. 14). En estos casos, se podrían estar buscando resultados sobre factores de manejo, e información sobre distintos tipos de ensayos en diferentes cultivos, como trigo, soja, maíz, sobre distintas dosis de fertilización, diferentes velocidades de siembra, diferentes cultivares, etc. Estos ensayos mejorarían el criterio técnico, para ser más eficientes en el manejo promedio tradicional, obteniendo allí un beneficio económico concreto, sin tener que llegar a la dosificación de insumos variables.

FIGURA. 14: Mapa de rendimiento con escasa variabilidad como para decidir dosis variable.



FUENTE. (http://www.engormix.com/s_articles_view.asp?art=612)

En caso de que el lote no presente variabilidad, como para ser manejada en diferentes sitios, la utilidad de la tecnología de Agricultura de Precisión se

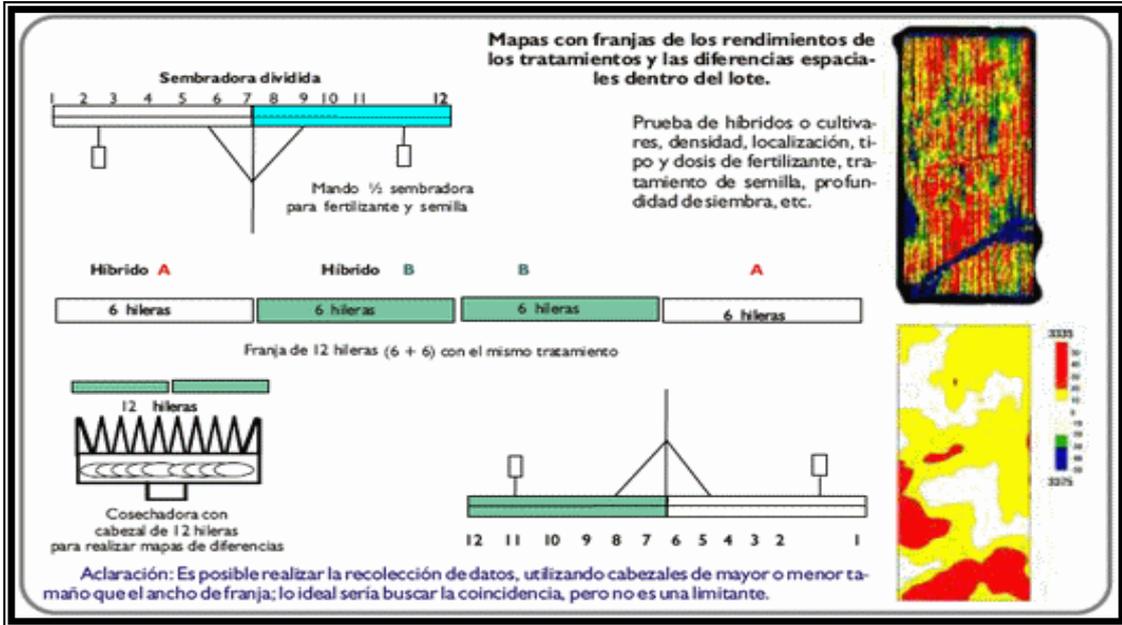
restringe, muchas veces, a la recolección de datos de factores de rendimiento, y al mejoramiento de los insumos en forma tradicional; para esto, la metodología de ensayos de máquina dividida es una excelente alternativa.

Como señalamos, una opción para obtener mucha información y de gran valor agronómico es la de utilizar la metodología de la sembradora dividida, la cual posee un buen potencial de experimentación a campo.

Cuando se presentan lotes con alta variabilidad de rendimiento, ya sea por relieve, tipo de suelos o manejo anterior, podemos estar recopilando información de gran valor, como en el caso del mapa anterior, aunque con mayor utilidad, dado que estos resultados se amoldarán a los diferentes sitios que presente el lote; o sea, los sitios serían las zonas a manejar como unidades diferentes (Fig. 14). Sitios de alta potencialidad y de baja potencialidad de rendimiento, serían los extremos, y dentro de ellos habría varios sitios intermedios -siempre que sea factible su manejo diferencial-.

En lotes como el de la Fig. 14, podemos observar que la variabilidad está presente de manera muy importante, y que podrían determinarse 2 sitios claramente definidos, a los que pueden caracterizarse por medio de muestreos de suelo dirigidos, y así, poder realizar un manejo diferencial de insumos, variedades, híbridos, dosis de fertilización, distanciamiento entre hileras, etc.; de esta manera, el círculo de la Agricultura de Precisión se cumple, como puede observarse a continuación:

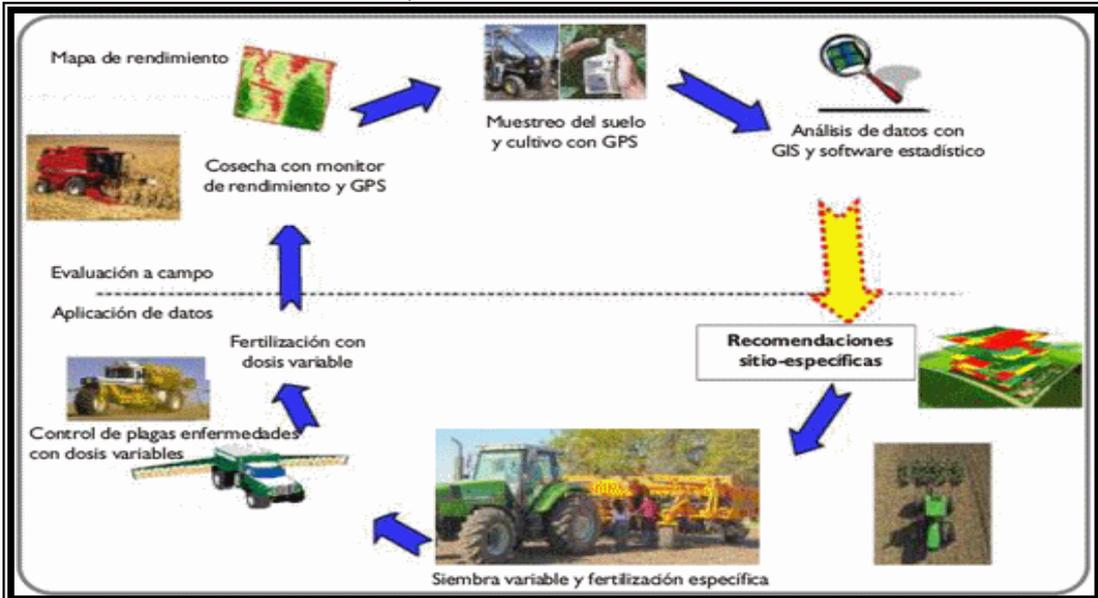
FIGURA 15: Mapa de rendimiento con alta variabilidad.



FUENTE: (http://www.engormix.com/s_articles_view.asp?art=612)

Lo que alienta a la realización de dosis variable de insumos. Sería muy importante caracterizar los ambientes por medio de muestras de suelo, para conocer las variaciones en las aplicaciones de insumos.

FIGURA 16. Ciclo de rendimiento, con el uso del GPS.



FUENTE: (www.cosechaypostcosecha.org)

4.4 ENSAYOS REALIZADOS EN MAÍZ Y SOJA.

A manera de ejemplo se describe uno de los tantos ensayos realizados por el Proyecto Agricultura de Precisión, en un lote de la Localidad de Pampayasta - Pcia. De Córdoba-. Allí, se utilizó un sistema de dosis variable con 3 insumos (a variar) durante la siembra (semilla, fertilizante en la línea y fertilizante al costado).

El sistema utilizado fue el de Verion Agrometal, que consiste en un monitor navegador controlador de dosis y densidades de fertilizante y semilla respectivamente. Es un sistema electro hidráulico, donde motores hidráulicos son los que hacen variar los insumos, según las RPM (relativas) que se transmiten al tren cinemático de siembra y fertilización.

4.4.1 Funcionamiento de la sembradora de dosis variable.

La información, que el asesor indica que tiene que ir dosificando la sembradora en cada sitio del lote, es la prescripción. La programación se inicia confeccionando la prescripción de semilla y/o fertilizante, variable dentro del lote a sembrar con sus correspondientes coordenadas GPS, de acuerdo a la información disponible y al conocimiento agronómico del asesor.

Para ello, se pueden utilizar diferentes software que puedan leer archivos Excel, y realizar archivos con puntos georreferenciados (latitud y longitud), que posean los cambios de dosis y densidad correspondientes.

Luego, esa información se ingresa a un programa específico de Verion llamado MapEdit, que es muy sencillo, y es útil para leer la prescripción. El último paso, consiste en ingresar los datos elaborados de la computadora al monitor, que va en la cabina del tractor.

(http://www.engormix.com/s_articles_view.asp?art=612)

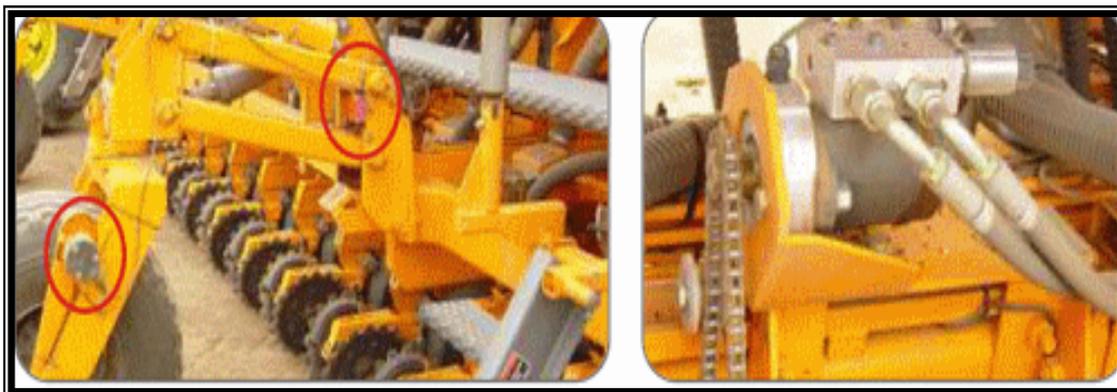
FIGURA 17. Detalle de monitor verion para dosis variable, manual o satelital. Ubicación del monitor (arriba) y monito de siembra Agrometal (abajo) en la cabina del tractor.



FUENTE: (http://www.engormix.com/s_articles_view.asp?art=612)

El monitor de la Fig. 17 (arriba), es un navegador de 3 canales que sirve para aplicar 3 productos variables en tiempo real (único en el mundo) y de manera independiente. Este monitor Agrometal es para siembra, y mide velocidad, indica la densidad de siembra, la distribución de la semilla, y mediante una alarma muestra si algunos de los cuerpos de siembra se quedan sin semilla.

FIGURA 18. Sensor en la rueda y activador de siembra, al momento que la maquina esta clavada. Detalle de uno de los tres motores hidráulicos variadores de vueltas del tren científico para dosificar variable tanto semilla como fertilizante.



FUENTE: (http://www.engormix.com/s_articles_view.asp?art=612)

V. CONCLUSIÓN.

La Agricultura de Precisión es una herramienta más, dentro del paquete tecnológico, que en la actualidad se le ofrece al agrónomo, y está en los técnicos y productores invertir y aprovecharla eficientemente.

Invertir sin tener en claro cuál es la variabilidad o factor a manejar, probablemente genere altas posibilidades de fracaso. Pero si a estas inversiones se las realiza con su correspondiente análisis, los resultados alentadores vendrán progresivamente.

El Proyecto Agricultura de Precisión de INTA, también es una herramienta de la que dispone el productor para la búsqueda de información básica, información sobre tecnologías evaluadas, y experiencias pilotos que pueden elevar la base del conocimiento con permanente actualización; también el Proyecto ofrece a través de sus publicaciones, cursos y página web un amplio servicio de información y capacitación para los distintos niveles de requerimiento.

El INTA apuesta al correcto uso y aprovechamiento de la Agricultura de Precisión, introducir esta metodología de trabajo en su campo, facilita la obtención de datos y su análisis, potencia sus conocimientos agronómicos y el de su asesor, posibilita realizar mejores diagnósticos y planificaciones, permite ejecutar con más control las operaciones y obtener más productividad en ambientes potenciales, o bien reducir costos y contaminación en otros, conservando siempre el ambiente productivo

El beneficio que los productores obtengan con esta nueva tecnología de proceso, será nuestro parámetro de evaluación como proyecto, por ello deseamos y necesitamos que los productores se motiven, adopten y trabajen alineados a esta propuesta que es de todos, pero está claro que existe un actor principal que es el productor, por eso debemos tener productores que sean innovadores, emprendedores y comprometidos con el futuro.

El compromiso social indica que debemos conservar el ambiente productivo, evitar poluciones y trabajar en mejorar la calidad de los alimentos en todo momento.

BIBLIOGRAFIA:

- ❖ ANTONIO LAGUNA BLANCA, (1999). Maquinaria Agrícola, edicion 3, ministerio de agricultura pesca y alimetacion pag 127 a 148)
- ❖ Agrs. Andrés Méndez y Fernando Scaramuzza (2004). *Proyecto de agricultura de precisión. Obtenido el 7 de febrero del 2007 de <http://www.agriculturadeprecision.org/siembCoseAlma/Sembradora%20IOM%20Inteligente.htm>*
- ❖ Deere y company (1996, 2007) obtenido el 2 de octubre del 2006 de www.deere.com/es_MX/ag/productos/maquinarias/sembradoras/sembrador a1700_specs.html - 16k
- ❖ Enciclopedia wikipedia (2003, mayo) obtenido el 2 de octubre del 2006 de <http://www.portalplanetasedna.com.ar/gps.htm>
- ❖ Francisco J Flores (2000) Superficie Agrícola. Obtenido el 3 de octubre del 2006 de http://www.iwmi.cgiar.org/pubs/latinAmericanSeries/pdf/15_2.pdf#search=%22zona%20agricola%20queretaro%20que%20usa%20el%20sistema%20gps%22
- ❖ Grupo corporativo (2003,octubre) obtenido el 15 de octubre del 2006 de <http://www.gps-mexico.com/sistema.html>

- ❖ HUNT DONNELL (1983). Maquinaria Agrícola. Editorial Limusa, México.
- ❖ http://www.sica.gov.ec/agronegocios/biblioteca/Ing%20Rizzo/agricultura/la_r_evoluci%C3%B3n.htm
- ❖ http://www.engormix.com/images/s_articles/sembradora_inteligente02.gif
- ❖ <http://www.clubdelamar.org/sistemagps.htm>
- ❖ <http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/ag>
- ❖ (http://www.euroresidentes.com/gps/que_es_el_gps)
- ❖ Ing. Julián César Velásquez (1975,1999) conocimiento, calibración y operación de sembradoras, obtenido el 2 de octubre del 2006 de http://paginas.usco.edu.co/~juvela/conocimiento,calibracionyoperaciondese_mbradoras.html
- ❖ Ing. Mario Bragachine (2006, 6 de enero). Engormix Agricultura de precisión. Obtenido el 2 de octubre del 2006 de http://www.engormix.com/s_articles_view.asp?art=612
- ❖ JHON DEERE, (1975) Serie FMO. Siembra, Publicaciones del Servicio Jhon Deere. Moline, Illinois USA. (calibración de sembradoras)
- ❖ Kruczynski, L. y Jasumback, (1993). Forestry management applications. Forest Service experience with GPS. Jour. of Forestry. Vol. 91(8): 20-24.

- ❖ Matter (febrero, 2005) Amigosdelciclismo. obtenido el 2 de octubre del 2006 de <http://www.amigosdelciclismo.com/material/gps/>
- ❖ Oficial Massey Ferguso (25 de mayo) obtenido el 13 de octubre del 2006 de <http://www.amarconi.com.ar/agriculturaPrecision.php>
- ❖ WILKINSON ROBERT, Braunbeak Oscar (1997) . Elementos de maquinaria agrícola, Tomo 2, editado por FAO, Roma.
- ❖ wikipedia (0ctubre 2006) sistema de navegación por satélite. Telecomunicaciones, obtenido el 28 de marzo del 2007 de <http://es.wikipedia.org/wiki/GPS>
- ❖ www.cosechaypostcosecha.org
- ❖ www.disa.bi.ehu.es/spanish/asignaturas/17223/Agricultura.pdf